

**GÉSSICA DE CARVALHO MADUREIRA**

**EFICIÊNCIA NUTRICIONAL, CICLAGEM BIOQUÍMICA E MODELAGEM DO  
CRESCIMENTO DE ÁRVORES DE *Tectona grandis***

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

Orientador: Júlio Cesar Lima Neves

Coorientadora: Hermínia Emília Prieto Martinez

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2021**

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

T

M183e  
2021  
Madureira, Gêssica de Carvalho, 1988-  
Eficiência nutricional, ciclagem bioquímica e modelagem  
do crescimento de árvores de *Tectona grandis* / Gêssica de  
Carvalho Madureira. – Viçosa, MG, 2021.  
1 dissertação eletrônica (110 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Júlio César Lima Neves.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa,  
Departamento de Solos, 2021.

Referências bibliográficas: f. 106-110.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2021.199>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Solos florestais - Fertilização. 2. Alometria. 3. *Tectona grandis* L. - Nutrição. 4. Ciclo mineral (Biogeoquímica).  
I. Neves, Júlio César Lima, 1955-. II. Universidade Federal de  
Viçosa. Departamento de Solos. Programa de Pós-Graduação em  
Solos e Nutrição de Plantas. III. Título.

CDD 22. ed. 631.422

Bibliotecário(a) responsável: Renata de Fátima Alves CRB6/2578

**GÉSSICA DE CARVALHO MADUREIRA**

**EFICIÊNCIA NUTRICIONAL, CICLAGEM BIOQUÍMICA E MODELAGEM DO  
CRESCIMENTO DE ÁRVORES DE *Tectona grandis***

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

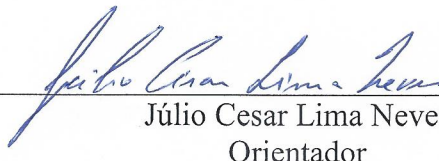
APROVADA: 13 de agosto de 2021.

Assentimento:



---

Gêssica de Carvalho Madureira  
Autora



---

Júlio Cesar Lima Neves  
Orientador

*In memoriam* da minha tia querida Zeneida,  
Deus te guarda em lugar mágico, você faz muita falta.  
Obrigada por sempre acreditar em mim.

**DEDICO**

Aos meus tios Zenilda e Valdenor,  
A minha vó Emilce Gomes,  
Ao meu Pai Antônio Carlos,  
Ao meu Namorado Bruno Nascimento,  
A minha sogra e meu sogro Paulina e Ernandes  
E aos meus sobrinhos!

**OFEREÇO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me permitir ir atrás dos meus sonhos, mesmo com todas as dificuldades impostas.

À Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, pela oportunidade concedida.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

A minha família, principalmente aos meus tios/pais Zenilda e Valdenor que mesmo com dificuldades me acolheram e me ensinaram a sempre correr atrás dos meus sonhos.

A minha amada vizinha Emilce Gomes, que foi privada de estudar em uma época muito difícil para as mulheres, e que refletiu em mim seus sonhos, que sempre me incentivou a continuar os estudos, mesmo quando parecia impossível.

Ao meu orientador, professor Dr. Júlio por toda paciência e orientação nessa caminhada e transferência de conhecimento.

A minha coorientadora, Dra. Hermínia por todo suporte e orientação nessa caminhada, e pela palavra amiga nas horas difíceis.

Aos membros da banca examinadora Professores Dr. Haroldo, Lafaiete, Hélio Garcia e Hermínia por ter aceitado o convite.

À empresa Proteca por todo suporte oferecido, principalmente a todos os funcionários que me ajudaram na coleta do experimento, agradecimento ao Sr. Fernando e a Engenheira Mallu por todas as informações cedidas.

Ao meu amor Bruno, por esses 12 anos de companheirismo, que sempre apoiou nas minhas decisões, mesmos com 2 mil km de distância, sempre esteve presente.

Aos meus sogros maravilhosos que eu tenho carinho imenso, Paulina e Ernandes. Minha madrinha/tia Adelina por sempre me incentivar.

Aos meus amores/sobrinhos que amo muito, Ryan, Enzo, Leonardo, Marcelo, Maicon, Murilo, Maria Vitória, Lívia e Rhavi.

Aos amigos de longa data que mesmo distante sempre se fizeram presente, Lili, Luciana e Camila. A Luciana que me agregou em sua casa e sua família durante a graduação, que me permitiu ter uma amiga que posso chamar de irmã. Lili nesses 20 anos de amizade forte e resistente.

A minha amiga July, que chegou comigo em Viçosa, e se tornou mais que uma amiga e sim uma irmã, um simples obrigado não é nada comparado ao que você representa, te conhecer fez eu acreditar que pessoas muito boas realmente existem.

Ao meu amigo Ricardo, que passou por esse turbilhão de emoções comigo, você é uma pessoa que levarei para vida. A minha amiga Valéria Ramos, por toda sua ajuda científica e parceria nas melhores lembranças que tenho de Viçosa.

Aos amigos do mestrado que mesmo de longe sempre se fizeram presente Tarcio, Jéssica, Mariely, Cristina e Mariana. Especialmente a Fernanda, por toda ajuda científica e nos momentos mais difíceis por ser minha parceira de aventuras e topou qualquer parada.

Ao amigo Diego Camargo, por sua amizade e palavras de incentivo.

Ao Expedito, por toda ajuda no experimento e amizade, e aos estagiários Matheus, Andressa e Thiago por todo suporte.

Aos amigos que sempre incentivaram e ajudaram de alguma forma, Anna Carolina, Ianna Barros, Aline Sousa, Patrícia Barros, Djalma, Esio, Valeria Cavalcante, Fernanda Zeidan, Julia Graziela, Renata, Sergio, Jonatas, Mauricio, Patrícia M, Jaqueline. Aos não citados que de alguma forma foram muito importantes nessa caminhada.

♪♪♪ A vida me ensinou a nunca desistir  
Nem ganhar, nem perder, mas procurar evoluir  
Podem me tirar tudo que tenho  
Só não podem me tirar as coisas boas que eu já fiz para quem eu amo  
♪♪♪

## RESUMO

MADUREIRA, Gécica de Carvalho, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2021. **Eficiência nutricional, ciclagem bioquímica e modelagem do crescimento de árvores de *Tectona grandis***. Orientador: Júlio César Lima Neves. Coorientadora: Hermínia Emília Prieto Martinez.

É necessário conhecer os padrões de crescimento, produção volumétrica de madeira e de acumulação de carbono e nutrientes e de eficiência nutricional dos clones utilizados, e seus efeitos na fertilidade do solo, sendo esses os objetivos deste trabalho para povoamentos clonais de teca, para os quais há carência dessas informações. Foram cinco estudos desenvolvidos com base em dados obtidos em povoamentos de teca em São José dos Quatro Marcos-MT. Estudo 1, em árvores médias de clones de teca (A3, A12, E4, D19) foram avaliadas produção de biomassa dos componentes da parte aérea, composição nutricional e magnitude da ciclagem bioquímica e índices de eficiência nutricional; avaliou-se utilização do teor do nutriente no lenho amostrado à altura do dap para estimar o teor no lenho do fuste como um todo. Estudo 2, dados obtidos desses quatro clones e C5 foram utilizados conjuntamente aos obtidos em povoamentos clonais teca em solo intensamente fertilizado, de outra região do estado, para a obtenção de equações alométricas visando a predição do acúmulo de biomassa e de macronutrientes em componentes da parte aérea de povoamentos clonais em função do diâmetro das árvores. Estudo 3, foi desenvolvido método de análise frequencial para avaliar a estrutura de povoamentos florestais, que foi aplicado a povoamentos dos clones A12, A3 e D19 (dois sítios). Estudo 4, realizou-se a modelagem, por meio de equações logísticas, da produção volumétrica de tronco e a acumulação de biomassa e de macronutrientes dos clones em função da idade dos povoamentos. No estudo 5, foram avaliados atributos da fertilidade do solo de duas fazendas. As conclusões foram: 1) a produção e partição de biomassa e de macronutrientes, bem como a magnitude da ciclagem bioquímica e a eficiência de utilização de nutrientes não diferiram entre os clones de teca 2) a contribuição da ciclagem bioquímica, em nível de folhas e lenho, foi, em média de 49,5% para N, S, P e K, e para Mg (22,6%), contribuições para a economia nutricional das árvores; 3) os teores de macronutrientes no lenho (altura do dap) podem ser utilizados para representar os teores obtidos pela amostragem do fuste como um todo; 4) foram obtidas equações alométricas para estimar o acúmulo de biomassa e de macronutrientes em função do dap, com elevada capacidade preditiva; 5) o método de análise numérica frequencial desenvolvido (MDD) permite a avaliação da estrutura de povoamentos florestais, intra e entre tratamentos de manejo, tendo permitido evidenciar padrões distintos de

VMI conforme o sítio e a idade; 6) foram obtidos modelos úteis para predição da produção volumétrica de tronco e das acumulações de biomassa e de macronutrientes em função da idade; 7) a derivação matemática dos modelos obtidos permitiu identificação das idades de máxima aceleração e mínima aceleração do crescimento e acumulação de biomassa e nutrientes, bem como IMA, cujos valores diferiram entre as áreas, entre clones entre populações de diferentes classes de incremento diamétrico; 8) os atributos da fertilidade do solo indicam manutenção com o cultivo da teca, e pode ser atribuído a ciclagem bioquímica e da biogeoquímica.

Palavras-chave: Teca-alometria. Teca-acumulação de nutrientes. Teca-biomassa aérea. Teca-fertilidade do solo. Teca-modelo de distribuição em decis.

## ABSTRAT

MADUREIRA, G ssica de Carvalho, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August, 2021. **Nutritional efficiency, biochemical cycling and tree growth modelling of *Tectona grandis*.** Adviser: Júlio C sar Lima Neves. Co-adviser: Hermínia Emília Prieto Martinez.

It is necessary to know the growth patterns, volumetric wood production, carbon and nutrient accumulation and nutritional efficiency of the clones used, and their effects on soil fertility, which are the objectives of this work for clonal teak stands, for which there is a lack of this information. There were five studies developed based on data obtained in teak stands in São José dos Quatro Marcos-MT. Study 1, in medium trees of teak clones (A3, A12, E4, D19) biomass production of shoot components, nutritional composition and magnitude of biochemical cycling and nutritional efficiency indices were evaluated; the use of the nutrient content in the sampled wood at the height of the dap was evaluated to estimate the content in the stem wood as a whole. Study 2, data obtained from these four clones and C5 were used together with those obtained from clonal teak stands in intensely fertilized soil, from another region of the state, to obtain allometric equations aimed at predicting the accumulation of biomass and macronutrients in components of the part. aerial view of clonal stands as a function of tree diameter. Study 3, a frequency analysis method was developed to evaluate the structure of forest stands, which was applied to stands of clones A12, A3 and D19 (two sites). Study 4, modeling was carried out, through logistic equations, of the volumetric production of trunk and the accumulation of biomass and macronutrients of the clones as a function of the age of the stands. In study 5, soil fertility attributes of two farms were evaluated. The conclusions were: 1) the production and partition of biomass and macronutrients, as well as the magnitude of biochemical cycling and nutrient utilization efficiency did not differ between teak clones 2) the contribution of biochemical cycling, at the level of leaves and wood, was, on average, 49.5% for N, S, P and K, and for Mg (22.6%), contributions to the nutritional economy of trees; 3) the contents of macronutrients in the wood (dap height) can be used to represent the contents obtained by sampling the bole as a whole; 4) allometric equations were obtained to estimate the accumulation of biomass and macronutrients as a function of dap, with high predictive capacity; 5) the developed numerical frequency analysis method (MDD) allows the evaluation of the structure of forest stands, within and between management treatments, having allowed to show distinct patterns of VMI according to site and age; 6) useful models were obtained to predict the volumetric production of trunk and the accumulations of biomass and macronutrients as a function of age; 7) the mathematical derivation of the models obtained allowed identification

of the ages of maximum acceleration of minimum acceleration of growth and accumulation of biomass and nutrients, as well as IMA, whose values differed between areas, between clones and populations of different classes of diametric increment; 8) the attributes of soil fertility indicate maintenance with teak cultivation, and can be attributed to biochemical and biogeochemical cycling.

Keywords: Teak-allometry. Teak-nutrient accumulation. Teak-aerial biomass. Teak-soil fertility. Teak-decis distribution model.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	17
2.1 Estudo 1 Avaliação da produção e partição de biomassa e de macronutrientes e de suas eficiências de utilização por clones de teca.....	17
2.1.1 Área de estudo.....	17
2.1.2 Amostragens e avaliações nas árvores.....	19
2.1.3 Obtenção dos teores, conteúdos, partição e de índices de utilização de macronutrientes.....	19
2.1.4 Avaliação da magnitude da ciclagem bioquímica e sua contribuição para a acumulação de nutrientes.....	21
2.1.5 Avaliação da utilização do teor do nutriente em amostra do lenho coletada à altura do dap para representar o teor do nutriente no lenho do fuste.....	22
2.2 Estudo 2 Modelagem da produção volumétrica e de biomassa, e do acúmulo de macronutrientes, por meio de equações alométricas.....	22
2.3 Estudo 3 Desenvolvimento de método de análise frequencial para avaliação comparativa da estrutura de povoamentos florestais, intra e entre tratamentos de manejo.....	24
2.4 Estudo 4 Modelagem estatística para a produção volumétrica e a acumulação de biomassa e de macronutrientes em povoamentos clonais de teca.....	25
2.5 – Estudo 5 Avaliação de atributos da fertilidade do solo ao longo do crescimento de povoamentos clonais de teca.....	27
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
3.1 – Estudo 1 Avaliação da produção e partição de biomassa e de macronutrientes e de suas eficiências de utilização por clones de teca.....	29
3.1.1 Avaliações dendrométricas.....	29
3.1.2 Produção e partição de biomassa.....	30
3.1.3 Teor, conteúdo e partição de nutrientes.....	31
3.1.3.1 Teor de macronutrientes.....	31
3.1.3.2 Conteúdo e partição de macronutrientes.....	36
3.1.4 Eficiência de Utilização de Nutrientes.....	43
3.1.4.1 Índice de utilização biológica ( $EUN_{u_{ij}}$ ).....	43
3.1.4.2 Coeficiente de Utilização Biológica Integralizado (CUBINuti).....	46

3.1.4.3 Índice de Utilização Foliar do Nutriente (IUF <i>Nuti</i> ) para a produção de parte aérea e dos componentes de interesse comercial (tronco ou lenho) .....	47
3.1.5 Magnitude da ciclagem bioquímica e sua contribuição para a acumulação de nutrientes	48
3.1.6 Avaliação da utilização do teor do nutriente em amostra do lenho coletada à altura do dap para representar o teor do nutriente no lenho do fuste.....	52
3.2 Estudo 2 Modelagem da produção volumétrica de árvores individuais e de biomassa, e do acúmulo de macronutrientes, por meio de equações alométricas.....	54
3.3. Estudo 3 – Avaliação comparativa da estrutura de povoamentos florestais, intra e entre tratamentos de manejo, pelo método de distribuição em decis (MDD). .....	57
3.4. Estudo 4 - Produção volumétrica e a acumulação de biomassa e de macronutrientes em povoamentos clonais de teca obtidos por modelagem matemática .....	61
3.4.1. Modelagem da Produção Volumétrica de Tronco .....	62
3.4.2 Modelagem da Acumulação de Biomassa. ....	68
3.4.3 Modelagem da acumulação de macronutrientes.....	84
3.5 Atributos da fertilidade do solo ao longo do crescimento de povoamentos clonais de teca	102
4 . CONCLUSÕES .....	105
REFERÊNCIAS .....	106

## 1. INTRODUÇÃO

A *Tectona grandis* L.f. também conhecida como teca é de excelente qualidade em termos de madeira serrada. A maior proporção de área plantada de teca está na Ásia com 83%, seguida pela África com 11% e 6% na América tropical (MOYA et al. 2014), em que se destaca o Brasil, principalmente nas regiões Norte e Centro-Oeste (CERQUEIRA et al., 2017). No Centro-Oeste, se destaca o estado do Mato Grosso, com cerca de 95% da produção nacional. Os incentivos para plantação dessa espécie nessa região são devidos às condições ambientais favoráveis, e ao emprego de sementes selecionadas ou mesmo da utilização de clones que permitiram a redução do ciclo de corte, com a obtenção de madeira de ótima qualidade (PASSOS et al., 2006).

O sucesso na implantação de teca depende muito de certas características: a espécie se desenvolve melhor em regiões de precipitação anual de 1.250 mm a 3.750 mm, associado a um período de três a cinco meses secos, sendo exigente em luz e sensível à geada, em solos profundos, com textura franca arenosa e argilosa, bem drenados, planos ou levemente inclinados e férteis, com pH ideal do solo de 6,5 a 7,5 (PELLISSARI et al. 2014; BEDOYA VELÁSQUEZ, 2014). Por isso, a mesma apresenta elevado potencial no Mato Grosso.

As produtividades de teca variam conforme o genótipo e com as condições de sítio e manejo. No Mato Grosso, povoamentos seminais da cultura produzem até 25 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (SHIMIZU et al., 2007) em locais com precipitação média anual variando de 1.300 mm até 2.200 mm (MEDERIOS, 2016).

Um dos empecilhos para a implantação da cultura é a carência de informações sobre o manejo, sendo necessárias informações importantes, como uso de genótipos adequados, sobre as fertilizações e adubações e as técnicas silviculturais (desbastes e desramas), mais adequada a serem aplicadas em diferentes fases do seu desenvolvimento.

Assim, o uso de genótipos superiores pode ser estratégia para obter povoamentos mais produtivos e adaptáveis a diferentes locais. Além disso, o conhecimento da taxa de exportação de nutrientes por diferentes genótipos é essencial para as empresas com vista à adoção de técnicas de conservação e de reposição de nutrientes ao ecossistema (SANTANA et al., 1999).

A fertilização em povoamento florestais, por exemplo de povoamentos de eucalipto, representa cerca de 30% do custo total de silvicultura; dessa forma, ao optar por utilizar genótipos com maior eficiência nutricional, além de reduzir os custos, pode ainda contribuir para o aumento da sua produção. Assim a caracterização da eficiência nutricional de genótipos

é necessária e importante. A eficiência do uso de nutrientes, pode ser definida como a relação entre a produção de biomassa e a absorção de nutrientes (SARAVANAN, 2019)

Um dado genótipo é considerado eficiente nutricionalmente, quando tem a habilidade de absorver os nutrientes necessários, em menor quantidade e distribuí-los de maneira eficiente nos diversos componentes da planta, sem comprometer a produtividade. Em plantios de teca, isso se torna uma das características mais valiosas, já que esta é considerada uma espécie exigente por nutrientes. Estudos sobre eficiência nutricional em teca foram realizados em teca seminal (BEHLING, 2009, PONTES, 2011) e em teca clonal (SANTOS, 2015), evidenciando que são poucos os trabalhos realizados nessa área para essa cultura.

Assim ao quantificar os nutrientes nos diferentes compartimentos da biomassa, especialmente na madeira, é possível minimizar as exportações de nutrientes, uma vez que materiais genéticos eficientes reduzem a exportação de nutrientes nas colheitas devido ao baixo teor de nutrientes por unidade de biomassa produzida (SARAVANAN, 2019).

O método tradicional utilizado para a avaliação do conteúdo de nutrientes na biomassa de lenho de árvores envolve procedimentos destrutivos, quais sejam, o abate da árvore, o seccionamento do fuste e a coleta de discos ao longo do fuste. Assim, cabe investigar se a coleta apenas de amostra do lenho à altura do dap (1,3 m de altura) proporciona a obtenção de teor do nutriente semelhante ao teor médio ponderado no lenho do fuste como um todo.

A teca é uma espécie caducifólia, está perde suas folhas, como estratégia para reduzir as perdas de água por transpiração na estação seca, sendo está importante, principalmente para a ciclagem de nutrientes.

Em relação à ciclagem de nutrientes, há a ciclagem bioquímica, via floema, e a ciclagem biogeoquímica por meio da deposição de litter e da liberação de nutrientes no solo do sítio, além da contribuição de exsudatos radiculares, vias de ciclagem estudadas, para teca, no Mato Grosso (CAVALCANTE, 2017, CAVALCANTE et al., 2020). Maiores níveis de ciclagem de nutrientes, tanto a ciclagem bioquímica como a biogeoquímica, significam maior economia nutricional.

A ciclagem bioquímica, a princípio, contribui para menor efeito do cultivo da cultura sobre a fertilidade do solo e tem influência, também, sobre o crescimento e desenvolvimento da espécie ao longo de sua rotação (VARGAS et al., 2018). A ciclagem bioquímica, faz com que os nutrientes que poderiam ser perdidos pela caducifólia sejam translocados para outros locais na própria planta, contribuindo para a manutenção nutricional do povoamento (MOURA, 2010). Nesse sentido, no trabalho de Cavalcante (2017) com povoamento clonal de teca no

Mato Grosso, verificou-se a contribuição da ciclagem bioquímica em nível de folhas mais lenho, em kg ha ano<sup>-1</sup>, a saber: N (36,6), P (3,5), K (26,5), Mg (23,0).

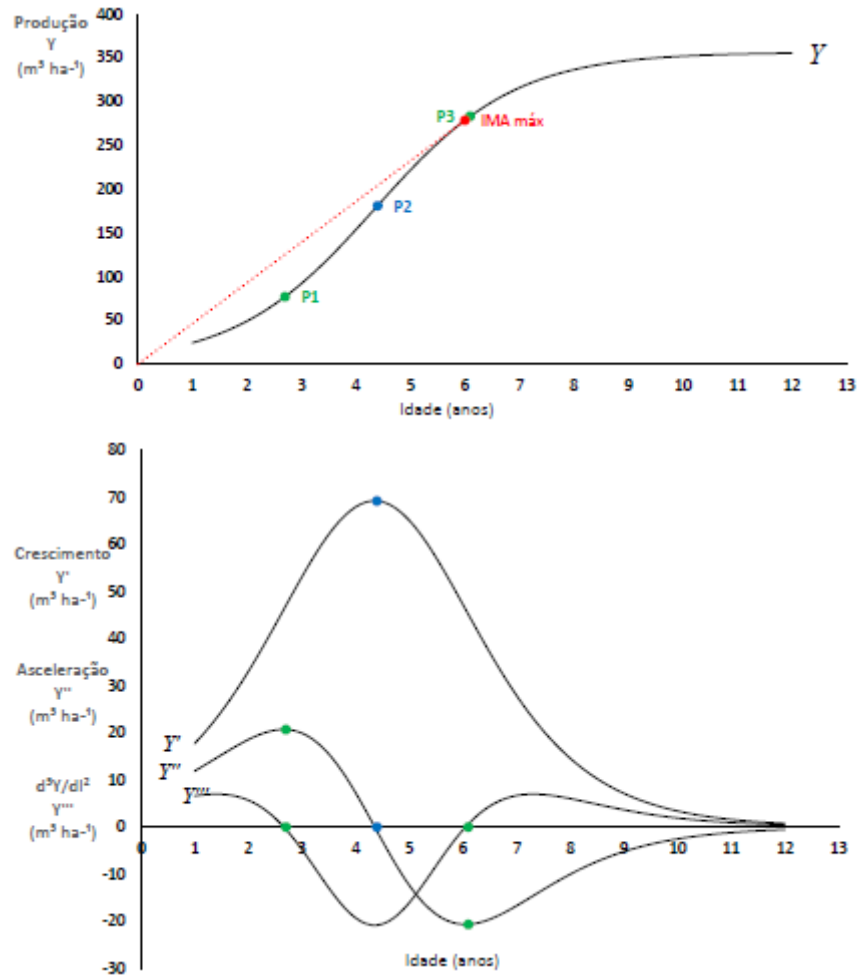
Em relação à ciclagem biogeoquímica via deposição de litter, nesse mesmo povoamento clonal de teca, a contribuição foi de, kg ha ano<sup>-1</sup>, N (17,5), P (1,5), K (15,8), Ca (61,0) e Mg (28,5), com reflexos importantes na fertilidade do solo, tais como: aumento de pH, teores de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, além da Soma e da Saturação por Bases, e da matéria orgânica (CAVALCANTE et al., 2020). Cabe investigar, para outras condições de sítio as alterações nos atributos da fertilidade do solo ao longo da rotação de povoamentos de teca.

Além das variáveis relacionadas ao manejo nutricional da teca, uma importante ferramenta no manejo florestal dessa cultura é a modelagem de crescimento e da acumulação de nutrientes. Nessa modelagem, faz-se o uso de técnicas matemáticas e estatísticas. Uma característica desejável de modelos de crescimento e de produção é que eles sejam biologicamente consistentes, sendo comum o emprego de modelos sigmóides, dentre eles, o logístico (CAMARGOS, 2017).

A modelagem do crescimento e da produção é parte dos elementos essenciais do manejo florestal (CAMPOS e LEITE, 2017), sendo utilizada para subsidiar os planos de manejo (MEDEIROS, 2016). Esses modelos podem ser em nível de povoamento (CERQUEIRA et al., 2017; VERDRUSCULO et al., 2014; DRESCHER et al., 2014; TONINI et al., 2009), por classe de diâmetro (NOGUEIRA et al., 2006) ou em nível de árvores individuais.

Diversas relações podem ser feitas a partir de estudos de curvas de crescimento e produção. Cordido (2019) e Barros (2021), para eucalipto, relatam que alguns pontos críticos que são fundamentais para tomadas de decisões em um gerenciamento florestal, podem ser obtidos a partir desses modelos, que são fundamentais para tomadas de decisões em um gerenciamento florestal, inclusive em relação ao manejo nutricional. Esses pontos podem ser identificados como P1, P2 e P3 e se referem à idade ou tempo durante a fase de crescimento da espécie. O P1 é a idade de máxima aceleração do crescimento ou da quantidade acumulada do nutriente, o P2 é a idade de máxima taxa de crescimento ou de máxima taxa de acumulação do nutriente, e o P3 é a idade de máxima desaceleração do crescimento ou da taxa de acumulação do nutriente, e são obtidos a partir da derivação da curva de crescimento ou da curva de acumulação do nutriente, como mostrado, a título de exemplo, na Figura 1, extraída de Barros (2021)

Figura 1 – Exemplo de curva de produção de eucalipto e de suas derivadas e identificação dos pontos P1, P2 e P3.



Fonte: Barros (2021).

Os objetivos deste trabalho foram:

- a) avaliar o conteúdo de macronutrientes e sua partição na parte aérea em plantios de clones de teca;
- b) avaliar a eficiência de utilização de macronutrientes em plantios de clones de teca;
- c) avaliar a magnitude da ciclagem bioquímica de N, P, K, Mg e S em plantios de clones de teca;
- d) avaliar a utilização do teor do nutriente no lenho à altura do dap para representar o teor do nutriente no lenho do fuste, em plantios de clones de teca;
- e) contribuir para o aprimoramento da modelagem da produção volumétrica e de biomassa, além do acúmulo de macronutrientes, por meio de equações alométricas tendo o dap como estimador, em povoamentos clonais de teca;

f) desenvolver método de análise frequencial para a avaliação comparativa da estrutura de povoamentos florestais, intra e entre tratamentos de manejo;

g) obter equações para produção volumétrica e acumulação de biomassa e de macronutrientes dos povoamentos de teca

h) avaliar atributos da fertilidade do solo ao longo do crescimento de povoamentos clonais de teca.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Estudo 1 Avaliação da produção e partição de biomassa e de macronutrientes e de suas eficiências de utilização por clones de teca**

#### 2.1.1 Área de estudo

A campanha de campo foi realizada em janeiro de 2019 em plantios clonais de teca (*Tectona grandis*) com quatro anos de idade (58° 29' 30" W; 15° 40' 0" S) localizado no município de São José dos Quatros Marcos, região sudoeste do estado de Mato Grosso (Figura 2).

O clima da região é do tipo Aw, tropical com estação seca, segundo a classificação de Köppen-Geiger, com variação da temperatura média entre 24 e 26 °C e precipitação anual variando de 1300 mm a 1600 mm (ALVARES, et al. 2013). O relevo da área experimental é plano e o solo é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, cujos resultados de análises químicas de amostras coletadas em janeiro de 2019 constam da tabela 1.

Figura 2. Localização das áreas do experimento no município de São José dos quatro Marcos no Mato Grosso.



Fonte: Autora (2021).

Tabela 1. Resultados de análise química de amostras do solo sob plantios de clones de Teca, no município de São José dos Quatro Marcos-MT

Prof.	pH (H <sub>2</sub> O)	Al	Ca	Mg	H+AL	SB	T	T	K	P	Prem	V	Mat.org.
-----cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> -----					--mg/dm <sup>3</sup> --		mg/L	%	g kg <sup>-1</sup>				
0-10	6,0	0	5,2	1,1	5,9	6,7	6,7	12,6	124,4	0,9	30,3	72,2	33
10-20	6,3	0	4,5	0,9	4,8	5,6	5,6	10,3	87,8	1,2	26,8	68,9	25
20-40	6,3	0	3,2	0,7	3,5	4,1	4,1	7,6	85,9	0,4	22,4	73,3	17
40-60	6,2	0	2,2	0,6	3,4	2,9	2,9	6,3	49,2	0,2	19,0	74,3	14

**Métodos:** pH (H<sub>2</sub>O) em água, P, K: Mehlich-1; Ca, Mg e Al: KCl 1 mol/L; H+Al: Acetato de Cálcio 0,5 mol/L pH 7,0; MO: Walkey e Black; Prem: Alvarez V. et al. (2000).

Fonte: Autora (2021).

Na área, não foi feita a calagem e a fertilização de base aplicada, junto à operação de subsolagem, foi de 44,3 kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 66,4 kg/ha Ca e 40,6 kg/ha S. Aos 90 dias após o plantio das mudas no campo aplicou-se 96 kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, por meio de 200 kg/ha MAP com 1,0% Ca e 0,5%B, em coveta lateral. Aos 17, aos 29 e aos 41 meses após o plantio, realizou-se a aplicação de 4 kg/ha de ácido bórico, por meio de pulverização foliar aos 17 e aos 41 meses, e via sólida, a lanço, aos 29 meses.

### 2.1.2 Amostragens e avaliações nas árvores

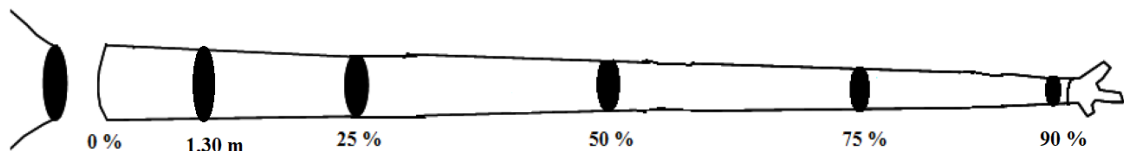
Na área experimental, num mesmo talhão, foram escolhidos plantios dos clones A12, A3, E4 e D19, todos eles plantados no espaçamento de 4m x 4m, e nestes foram estabelecidas parcelas de amostragem.

Nessas parcelas, as árvores foram mensuradas quanto à altura e ao diâmetro a 1,3 m de altura (dap). Com base no dap, as árvores foram estratificadas em três classes: inferior ( $\text{dap} < \text{média} - 1 \text{ desvio-padrão}$ ), média e superior ( $\text{dap} > \text{média} + 1 \text{ desvio-padrão}$ ).

Na parcela de cada clone, foram escolhidas três árvores médias por repetição que foram abatidas, separadas nos componentes da parte aérea (folhas, galhos, casca e tronco), que foram pesados no campo e amostrados.

Nas árvores abatidas foram coletados: um disco do tronco próximo a base (0%), outro à altura do dap e quatro discos acima do dap a 25, 50, 75 e 90 % da altura total (Figura 3). Foram realizadas medidas de altura das árvores, com hipsômetro, e do diâmetro e espessura de casca nos discos coletados, com auxílio de fita métrica.

Figura 3: Esquema da divisão das seções do tronco para retirada dos discos e determinação do volume.



Fonte: Autora (2021).

Além de amostra de folhas de toda a copa, foram coletadas também amostra de folhas do terço inferior da copa em janeiro de 2019 e novamente em julho de 2019, de modo a possibilitar o cálculo da magnitude relativa da ciclagem bioquímica, como descrito no item 2.1.4.

### 2.1.3 Obtenção dos teores, conteúdos, partição e de índices de utilização de macronutrientes

As amostras dos componentes das árvores foram submetidas à secagem - em estufa de circulação forçada de ar a 70°C por 96 h – pesagem, moagem e mineralizações, determinando-se, nos extratos, os teores de nutrientes. Nos discos do lenho do fuste foram estratificadas duas

regiões: a região mais central e a região periférica, nas quais os teores de nutrientes também foram determinados.

O nitrogênio (N) foi determinado pelo método Kjeldahl (digestão sulfúrica, com  $H_2SO_4 + H_2O_2$ ); em extratos da mineralização nítrico-perclórica foram determinados os teores de fósforo (P), potássio (K), Cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) com auxílio de um espectrofotômetro de emissão ótica em plasma induzido, marca Perkin Elmer, modelo Optima 3300 DV.

Foram determinados os conteúdos dos nutrientes nos diferentes compartimentos da planta ( $cNu_{ij}$ ), mediante o produto dos teores ( $tNuti$ ) pela massa de matéria seca ( $mMS$ ).

O conteúdo de nutrientes foi considerado um indicativo da eficiência de absorção, conforme Araújo (2000), uma vez que os clones foram implantados na mesma condição de sítio, submetidos às mesmas práticas de manejo e avaliados na mesma idade.

Em relação à eficiência de utilização dos macronutrientes, foram avaliados os seguintes índices: a) índice de utilização biológica ( $EuNu_{ij}$ ), calculado, para cada componente da parte aérea, conforme  $EUNuti = \text{massa de matéria seca}^2 / \text{conteúdo do nutriente}$  (SIDDIQUI; GLASS, 1981); b) o Coeficiente de Utilização Biológica Integralizado (CUBINuti), por meio de  $CUBINuti = \text{biomassa do componente de interesse comercial (tronco ou lenho)} / \text{conteúdo do nutriente na parte aérea}$ , proposto por Neves (2000), para eucalipto e utilizado por Santos, (2015), para teca; c) o Índice de Utilização Foliar do Nutriente (IUFNuti) para a produção dos componentes de interesse comercial (tronco ou lenho), conforme  $IUFNuti = \text{IMA Biomassa do componente} / \text{Conteúdo do nutriente na folha}$ , proposto por Santos, (2015).

Os resultados de altura, diâmetro, massa de matéria seca, teores e conteúdos de nutrientes, e respectivas partições nos componentes da parte aérea, bem como os índices de eficiência de utilização após submetidos ao normalidade pelo teste Lilliefors e homogeneidade de variâncias pelos testes Hartley, Cochran e Bartlett, foram submetidos à análise de variância, tendo como tratamentos os clones, adotando-se o nível de 5% de probabilidade. Para as variáveis com efeito significativo, as médias foram comparadas pelo teste Tukey a 5%.

#### 2.1.4 Avaliação da magnitude da ciclagem bioquímica e sua contribuição para a acumulação de nutrientes

A avaliação da magnitude da ciclagem bioquímica foi realizada em nível de lenho e de folhas. Para tanto, foram utilizados: em nível de lenho: os mesmos discos que foram obtidos na cubagem rigorosa das árvores médias de cada um dos clones; em nível de folhas: folhas do

terço inferior da copa, coletadas em janeiro de 2019, posição e época de amostragem recomendadas por Cavalcante (2017) para teca, e em julho de 2019, logo antes da desfolha anual natural.

Nos discos do tronco, após separada a casca, foram retiradas subamostras do lenho em duas posições: uma mais central, representando tecido mais velho, que será denominado no texto como “cerne”, e outra na região periférica mais externa, representando tecido mais jovem, denominado no texto como “alburno”. Essas subamostras foram retiradas com o auxílio de furadeira com broca de aço inoxidável e as folhas foram moídas em moinho tipo Wiley, seguindo-se os procedimentos já descritos no item 2.1.3, para a determinação dos macronutrientes.

A magnitude relativa de ciclagem bioquímica (MRCB) de nutrientes foi determinada em cada disco, em relação ao Cálcio. Para isso, foi utilizada a fórmula, proposta por Chuyong et al., (2000), também utilizada, para teca, por Cavalcante (2017).

$$MRCB (\%) = \left\{ 1 - \left[ \frac{\left( \frac{Nut}{Ca} \right)_{cerne}}{\left( \frac{nut}{Ca} \right)_{alburno}} \right] \right\} \times 100$$

(1)

Em que:

MRCB - Magnitude relativa da ciclagem bioquímica, em %;

Nuti/Ca- quociente entre o teor do nutriente e o teor de cálcio

Procedimento análogo foi utilizado para o cálculo da MRCB entre folhas, sendo as folhas coletadas em janeiro de 2019 consideradas as folhas jovens e as coletadas em julho consideradas as folhas velhas.

Com base nos valores de MRCB em nível de folhas e nos conteúdos de nutrientes nas folhas foi estimada a quantidade de N, de P, de K, de Mg e de S ciclada, pela via bioquímica, nas folhas. De modo semelhante, com base nos valores de MRCB em nível de lenho e no incremento médio anual do conteúdo de nutrientes no lenho foram estimadas as quantidades desses nutrientes cicladas pela via bioquímica no lenho.

Estimou-se, também, a contribuição relativa, em %, das quantidades desses nutrientes anualmente cicladas pela via bioquímica para as respectivas taxas médias de acumulação anual.

Os resultados foram submetidos à análise de variância tendo como tratamentos os clones, adotando-se o nível de 5% de probabilidade no teste F.

### 2.1.5 Avaliação da utilização do teor do nutriente em amostra do lenho coletada à altura do dap para representar o teor do nutriente no lenho do fuste

Os teores de macronutrientes no lenho do fuste e os teores desses nutrientes no lenho à altura do dap dos clones estudados foram submetidos à análise da variância conforme o esquema de parcela dividida, com os clones sendo os tratamentos da parcela e as posições no lenho (no dap ou no fuste) os tratamentos da subparcela. Para cada nutriente, desdobrou-se a interação clone x posição, no sentido de avaliar, pelo teste F, a 5% de probabilidade, o efeito de posição para cada clone.

Também, para cada nutriente, os teores de nutrientes no dap e no fuste foram correlacionados por Pearson e foram obtidas as respectivas equações com intercepto igual a zero, foram ajustadas para teores de nutrientes no dap e no fuste das árvores.

## 2.2 Estudo 2 Modelagem da produção volumétrica e de biomassa, e do acúmulo de macronutrientes, por meio de equações alométricas

Foram utilizados os dados obtidos por Santos (2015), para a Região de Nova Maringá – MT, para povoamentos clonais (mix dos clones A1 e A3), com idades de 15, 51, 63 e 75 meses, acrescidos dos dados obtidos neste trabalho, para povoamentos clonais, com idade de 48 (clones A3, A12, E4, D19) e de 59 meses (clone C5), para a Região de São José dos Quatro Marcos – MT.

Na região de Nova Maringá, os povoamentos clonais com 15, 51 e 63 meses haviam recebido calagem, fertilização de base e de cobertura, já o de 75 meses não recebeu calagem nem fertilizações. Para a calagem, realizada na implantação, calcário dolomítico (PRNT 80%) foi aplicado, a lanço em área total, na dose de 6 t ha<sup>-1</sup>. A adubação de base consistiu de 50 kg ha<sup>-1</sup> N, 135 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 30 kg/ha K<sub>2</sub>O, 30 kg ha<sup>-1</sup> FTE BR12 e 30 kg de FTE CO). Depois de um ano foram aplicados em duas covas, a 30 cm da planta: 200 kg ha<sup>-1</sup> de NPK 05-30-15, 60 kg ha<sup>-1</sup> de KCl, 3 kg ha<sup>-1</sup> Borogran 10% B e 3 kg ácido bórico. Após dois anos em relação ao plantio foi aplicado, a lanço, em área total, 100 kg ha<sup>-1</sup> de KCl.

Na região de São José dos Quatro Marcos, as fertilizações efetuadas para os plantios dos clones A12, A3, E4 e D19 estão descritas no item 2.1.1 e na área cultivada com o clone C5 houve o aporte, antes da implantação, na operação de subsolagem, 42 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 63 kg ha<sup>-1</sup> Ca e 36,5 kg ha<sup>-1</sup> de Mg. Além disso, aos 40 dias após o plantio, realizou-se a aplicação de 72 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, em coveta lateral, via MAP com B (10% N, 48% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 1% Ca e 0,75% B), o que

resultou também no aporte de 15 kg ha<sup>-1</sup>N, 1,5 kg ha<sup>-1</sup> Ca e 1,1 kg ha<sup>-1</sup>B). Aos 17 e aos 28 meses após o plantio, realizou-se a aplicação de 3 kg ha<sup>-1</sup> de ácido bórico, e aos 39 meses de 1 kg ha<sup>-1</sup> dessa mesma fonte, todas por meio de pulverização foliar.

Em ambas as áreas, o espaçamento de plantio foi de 4 m x 4 m, resultando em 625 árvores/ha.

Na região de Nova Maringá, nos povoamentos estudados, foram demarcadas parcelas com 81 árvores, cada, que foram mensuradas quanto ao diâmetro (dap) e com base no dap foram abatidas três árvores para cada idade do povoamento: uma árvore na classe central de *dap*, uma na classe onde se encontrava o valor central menos um desvio padrão e a terceira na classe onde se encontrava o valor central mais um desvio padrão, num total de 12 árvores clonais. Na região de São José dos Quatro Marcos, foram abatidas três árvores médias para cada um dos cinco clones, sendo num mesmo talhão de uma fazenda (fazenda A) os clones A12, A3, E4 e D19 e em outro talhão, de outra fazenda (fazenda B), o clone C5.

Em ambas as regiões, os componentes da parte aérea das árvores foram pesados no campo e amostrados. Em laboratório, após os procedimentos rotineiros de secagem, pesagem, moagem, mineralizações, fez-se a determinação dos macronutrientes, conforme descrito anteriormente, no item 2.1.3.

Foram ajustadas equações para as variáveis biomassa e conteúdo de macronutrientes na copa (folhas e galhos), no tronco, no lenho e na parte aérea, por árvore, em função do diâmetro a 1,30 m de altura (dap), variável esta que incorpora os efeitos de fatores de crescimento e é de fácil e rotineira medição nos inventários florestais; a faixa de variação dos valores observados de dap foi de 2,23 cm a 22,95 cm. As equações foram testadas com base no quadrado médio do independente da regressão.

### **2.3 Estudo 3 Desenvolvimento de método de análise frequencial para avaliação comparativa da estrutura de povoamentos florestais, intra e entre tratamentos de manejo**

A ideia norteadora deste estudo foi a de desenvolver método de análise numérica, de grande simplicidade e fácil utilização, com auxílio de planilha eletrônica, que permita avaliar a estrutura do plantio florestal, de modo comparativo intra e entre diferentes talhões ou tratamentos de manejo, e, assim, contribua para obtenção de mais informações com base nas medições de árvores individuais realizadas pelas empresas florestais, seja em parcelas de inventário, seja em parcelas de experimentos e testes.

Para ilustrar o desenvolvimento do método foram utilizados dados de parcela de inventário florestal contínuo de povoamentos clonais de teca (clones A12, A3 e D19), em dois sítios na região de São José dos Quatro Marcos – MT, denominados, no contexto deste texto, de Área 1 e de Área 2.

Foram utilizados os seguintes dados obtidos dos inventários contínuos: na Área 1: aos 3,5, 4,5 e 6,5 anos; na Área 2: aos 2,5, 3,5 e 5,5 anos de idade.

O método consiste nos seguintes passos, aplicado para cada uma das duas áreas estudadas e para cada idade das árvores

- 1) Os valores de volume médio de tronco (VMI) das árvores foram ordenados, em sequência crescente, considerando o conjunto dos tratamentos de manejo (no caso, os três clones);

- 2) A seguir, foram calculados os decis (1 a 10) dos valores de VMI;

- 3) Foi assinalada, para cada árvore, a classe de decil correspondente;

- 4) Elaborou-se, com auxílio de planilha Excel, tabela dinâmica, de modo a se ter para cada clone, a frequência absoluta de árvores em cada classe de decil;

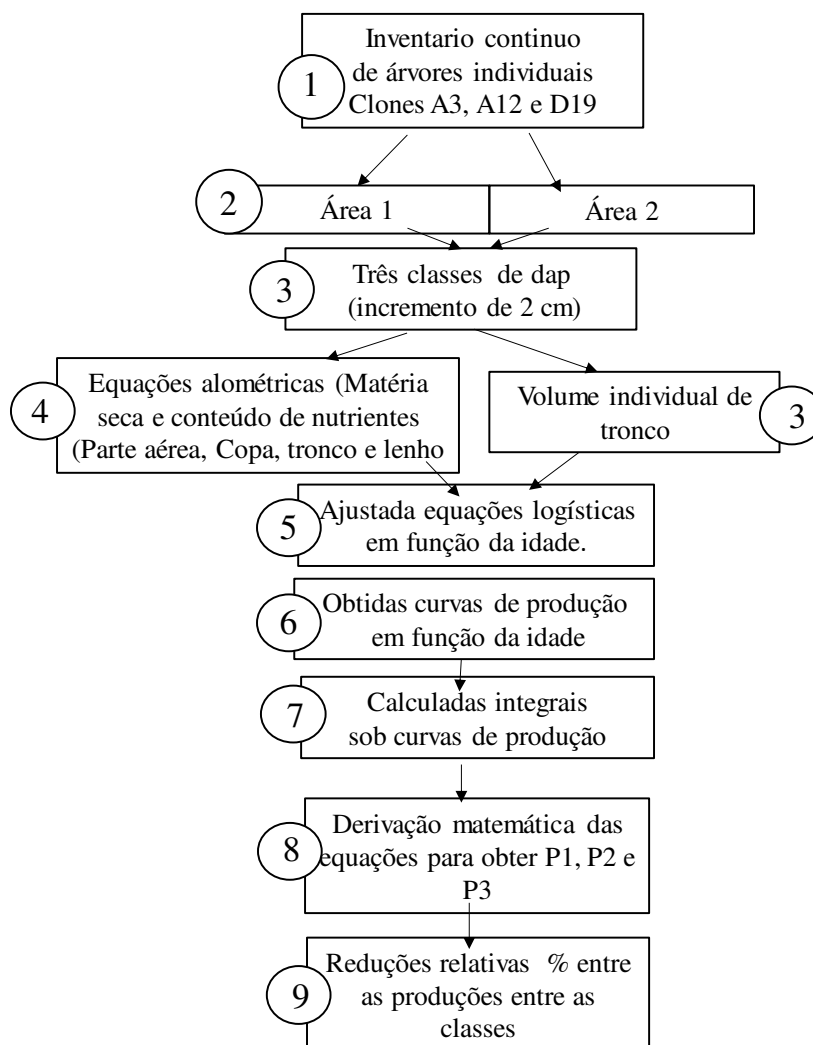
- 5) Para cada clone, dividiu-se a frequência absoluta de árvores em cada classe pelo número total de árvores do clone, obtendo-se, assim, sua frequência relativa de árvores em cada classe de decil.

- 6) De modo a obter maior síntese, para cada clone, as frequências relativas assim obtidas foram agrupadas em três classes: 1,2,3 (30% menores VMI); 4,5,6,7: (40% intermediários VMI); 8,9,10 (30% maiores VMI).

Propõe-se que o método assim desenvolvido seja denominado Método de Distribuição em Decis (MDD).

#### **2.4 Estudo 4 Modelagem estatística para a produção volumétrica e a acumulação de biomassa e de macronutrientes em povoamentos clonais de teca**

Figura 4. Fluxograma da Modelagem estatística para a produção volumétrica e a acumulação de biomassa e de macronutrientes em povoamentos clonais de teca.



Fonte: Autora (2021).

Os passos da Figura 4, estão detalhados a seguir:

- 1- Foram utilizados dados de parcela de inventário florestal contínuo de povoamentos clonais de teca (clones A12, A3 e D19), em dois sítios na região de São José dos Quatro Marcos – MT, denominados, no contexto deste texto, de Área 1 e de Área 2.
- 2- Na Área 1, os dados eram referentes aos inventários realizados nas mesmas árvores nas idades de 3,5, 4,5, 5,5 e 6,5 anos, para os clones A12 e D19, e nessas mesmas idades, exceto na de 5,5 anos, para o clone A3. Na Área 2, os dados eram referentes aos inventários realizados nas mesmas árvores aos 2,5, 3,5, 4,5 e 5,5 anos, para os clones A12 e D19, e nessas idades, exceto na de 4,5 anos, para o clone A3.
- 3- Com base nesses dados, foi obtido, para cada árvore, o incremento em número de classes de diâmetro (dap), de 2 cm, cada, da primeira à última medição referida. Em

seguida, para cada Área e clone foram estabelecidas três classes de incremento em número de classes de diâmetro: população inferior: menor que o incremento médio – 1 desvio padrão; população média; população superior: maior que o incremento médio + 1 desvio-padrão. Para cada uma dessas populações, em cada clone e área obteve o volume médio individual (VMI) de tronco em função da idade.

4- Também para cada uma dessas populações, em cada clone e área, fazendo uso das equações alométricas referidas no item 2.2, foram estimados os valores de massa de matéria seca e os conteúdos de macronutrientes na parte aérea, na copa, no tronco e no lenho em função dos valores de dap;

5- A seguir, foram ajustadas equações logísticas,  $VMI = \frac{a}{1+b*e^{(-c \text{ Idade})}}$  para VMI de tronco e para as variáveis (item 4) em função da idade, incluindo-se, para cada árvore, o valor 0 (zero) para a idade 0;

6- Dessa forma, foram obtidas as curvas de produção volumétrica de tronco. E também se obtendo assim as respectivas curvas de acumulação de matéria seca (que reflete em essência a acumulação de carbono) e de macronutrientes minerais;

7- As equações logísticas foram submetidas a derivação matemática de forma a obter os pontos P1, P2 e P3. Conforme Barros (2021), P1 é a idade de máxima aceleração do crescimento ou da produção de biomassa ou quantidade acumulada do nutriente, o P2 é a idade de máxima taxa de crescimento ou de máxima taxa de produção de biomassa ou de acumulação do nutriente, e o P3 é a idade de máxima desaceleração do crescimento ou da produção de biomassa ou da taxa de acumulação do nutriente.

8- Em cada área e para cada clone, foram calculadas as integrais das áreas sob as curvas de produção volumétrica de tronco, de biomassa da parte aérea e de seus componentes e de conteúdos de nutrientes na parte aérea.

9- Dessa forma, é possível obter, as respectivas reduções relativas, em %, entre as populações, mas, optou-se, por apresentar e discutir, apenas média vs superior. Essas reduções foram obtidas considerando o intervalo de tempo entre a idade 0 (zero) e os valores de P1, P2 e P3.

## **2.5 Estudo 5 Avaliação de atributos da fertilidade do solo ao longo do crescimento de povoamentos clonais de teca**

Este estudo foi realizado com base em resultados de análises de atributos da fertilidade do solo, sob cultivo de teca (clones A3 e A1), de talhões de sítios florestais, na região de São

José dos Quatro Marcos – MT, em duas fazendas de uma empresa florestal, denominadas, neste texto, A e B.

Nas duas fazendas foram coletadas amostras de solo, das camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade, em quatro épocas e também antes da implantação dos povoamentos clonais. Nessas amostragens, aleatórias, foram coletadas 15 amostras simples por amostra composta, de cada profundidade, de quatro talhões na fazenda A e em cada um de sete talhões na fazenda B. Na fazenda A, nos mesmos quatro épocas foram realizadas amostragens do solo da região das entrelinhas, em povoamentos nas idades de 4,4, 5,5 e 6,5 anos, como também feito nos sete talhões da fazenda B com os povoamentos nas idades de 3,3, 4,5 e 5,5 anos.

Os seguintes atributos foram avaliados: pH H<sub>2</sub>O, P e K – extraídos por Mehlich-1, Al<sup>3+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> - KCl 1mol/L, H+Al – CaOAC 0,5 mol/L pH 7, M.Orgânica – mediante C.orgânico, conforme Walkley & Black, x 1,724; foram também obtidos os índices Soma de Bases (SB), CTC a pH 7 e Saturação por Bases (VB). Nas amostras coletadas antes da implantação dos povoamentos, foram determinados os teores de areia, silte e argila.

Na fazenda A, para cada atributo da fertilidade do solo, os dados foram submetidos à análise da variância, conforme o seguinte esquema:

Fonte de Variação	GL
Talhão	3
Época	3
Talhão * Época (Erro A)	9

Camada	1
Talhão * Época (Erro B)	3
Época * Camada	3
Erro C	9
<hr/>	
Total	31

Fonte: Autora (2021).

Na fazenda B, o esquema da ANOVA foi o seguinte:

Fonte de Variação	GL
Talhão	6
Época	3
Talhão * Época (Erro A)	18
Camada	1
Talhão * Época (Erro B)	6
Época * Camada	3
Erro C	18
<hr/>	
Total	55

Fonte: Autora (2021).

O desdobramento da interação Época x Camada foi feito no sentido de avaliar o efeito de época dentro de cada camada, testado, a 5% de probabilidade, com base no Quadrado médio do resíduo combinado e respectivo número de Graus de Liberdade, estimados com base na aproximação de Satterthwaite.

Também, nos quatro talhões da fazenda A e nos sete talhões da fazenda B, e apenas para as amostragens feitas no ano de 2018 (na fazenda A, com os povoamentos na idade de 52 meses e na fazenda B, aos 39 meses) foi feito o balanço no sistema solo - planta, para P, K, Ca e Mg. Para a obtenção dos conteúdos desses nutrientes nas árvores foram utilizadas as equações alométricas apresentadas no item 2.2.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Estudo 1 Avaliação da produção e partição de biomassa e de macronutrientes e de suas eficiências de utilização por clones de teca

### 3.1.1 Avaliações dendrométricas

Para o diâmetro a altura de 1,3 m (dap) e altura total (Ht) não houve efeito significativo de clone (Tabela 2).

Tabela 2. Médias<sup>1/</sup> de diâmetro a altura de 1,3 m (dap) e Altura Total de árvores de clones, aos 48 meses, em São José dos Quatros Marcos-MT.

Característica	A3	A12	E4	D19	Média	F <sup>2/</sup>	CV <sup>3/</sup>
	(48 meses)						
<i>dap</i> (cm) <sup>5</sup>	16,30	16,50	16,13	17,40	16,58	ns	3,41
Altura Total (m)	10,57	9,47	11,82	11,80	10,91	ns	10,34

1/médias de três árvores por clone; 2/ ns: não significativo ( $p > 0,05$ ); 3/ coeficiente de variação de médias de clones; Fonte: Autora (2021).

Os valores de Ht observados neste trabalho são maiores do que os verificados em povoamentos seminais de teca aos 4 anos de idade por Pelissari et al., (2012), mas semelhantes aos observados em plantio clonal de teca aos 4 anos por Motta et al., (2016), sendo inferiores, contudo, aos observados em plantio clonal de teca, nessa mesma idade, no estado do Pará (SANTOS et al., 2018).

O incremento médio em dap (IMA\_dap) foi de 4,15 cm/ano, valor maior do que o obtido (4,00 cm/ano) para o melhor de cinco clones por Miranda (2013), mas pouco menor do que o observado por Santos (2015), 4,35, em árvores médias de povoamento clonal (mix dos clones A1 e A3) com 51 meses de idade, no mesmo espaçamento de plantio (4mx4m) na região de Nova Maringá – MT, Esses valores de IMA\_dap obtidos em povoamentos clonais são elevados comparativamente aos observados em povoamentos seminais de teca. A propósito, no trabalho de Santos (2015), essa superioridade foi de 32,6%.

Não obstante, o efeito não significativo de clone verificado neste trabalho, Ht foi a variável com maior variabilidade média entre os clones, com base no coeficiente de variação (CV) entre as médias de clones, o que indica uma maior capacidade discriminatória, vindo a seguir o dap. O entendimento do CV de médias de tratamentos, no caso de médias de clones, é no sentido de que se não houvesse variabilidade fenotípica intra-clone, a variável com maior CV é aquela com maior capacidade de discriminar os clones, conforme proposto por Neves (2000), o que pode ser importante para subsidiar o melhoramento florestal.

### 3.1.2 Produção e partição de biomassa

Não houve efeito significativo de clone sobre a produção de matéria seca (Tabela 3), o que deve ser visto com cautela, em razão dos elevados valores de coeficiente de variação (CV %) das Anovas (para biomassa: folhas 43,4, galhos 37,6, casca 40,9, lenho 38,9, tronco 38,8, parte aérea 34,7), valores esses maiores do que os valores de CV de médias de clones para essas variáveis. Ou seja, a variabilidade entre clones foi menor do que a variabilidade intra-clone.

Cabe considerar que para cada clone avaliado neste trabalho (ou seja, para a mesma genética), os dados são de árvores médias, plantadas na mesma época e mesma condição de sítio (clima, relevo e solo), submetidas às mesmas práticas de manejo, e avaliadas na mesma idade, razões pelas quais as elevadas variabilidades intra-clone não eram esperadas, aspecto que merece estudos mais aprofundados.

Para a partição de biomassa nos componentes da parte aérea, que reflete, em essência a partição de carbono, também não houve efeito significativo de clone (Tabela 3). Não obstante os CV (%) das Anovas tenham sido menores do que os verificados para a produção de biomassa (folhas 21,6, galhos 33,2, copa 18,9, casca, 19,2, lenho 11,1, tronco 10,8), todos eles são superiores aos de CV de médias de clones, indicando, também, que a variabilidade entre clones foi menor do que a intra-clone.

Os clones A3 e A12 são procedentes de plantações de teca das Ilhas Salomão, cujas sementes foram levadas para a Malásia, onde foram plantados e selecionados. O clone E4 é da Indonésia, provavelmente da Ilha de Java. O Clone D19 é da região de Nellicutha, Índia. Essas distintas procedências podem explicar, pelo menos em parte, a existência de variabilidade entre clones, mesmo plantados nas mesmas condições de sítio e submetidos ao mesmo manejo, como evidenciado pelos valores de CV de médias de clones. Em relação à matéria seca, é interessante notar que o componente da parte aérea com maior atividade fisiológica e metabólica, a folha, tem menor CV de médias de clones do que os demais componentes (galhos, lenho e casca), estes com maior proporção de tecidos lenhosos.

Tabela 3. Médias<sup>1/</sup>de matéria seca de componentes da parte aérea e sua partição em plantios de clones de teca, aos 48 meses, em São José dos Quatros Marcos-MT.

Componente	A3	A12	E4	D19	Média	F <sup>2/</sup>	CV <sup>3/</sup>
	Matéria seca (kg/árv)						
Folhas	11,15	9,96	11,82	11,42	11,09	ns	7,22
Galhos	17,86	24,95	16,85	19,21	19,72	ns	18,35

(Copa)	29,01	34,91	28,67	30,63	30,81	ns	9,30
Lenho	54,80	49,26	42,24	66,48	53,20	ns	19,25
Casca	3,91	3,55	2,41	3,49	3,34	ns	19,43
(Tronco)	58,71	52,80	44,65	69,97	56,53	ns	18,84
(Parte aérea)	87,73	87,71	73,32	100,60	87,34	ns	12,76
Partição (%)							
Folhas	13,10	10,70	15,90	11,20	12,73	ns	18,51
Galhos	21,20	30,20	23,00	19,80	23,55	ns	19,63
(Copa)	34,30	40,90	38,90	30,90	36,25	ns	12,45
Lenho	61,20	55,00	57,80	65,60	59,90	ns	7,63
Casca	4,50	4,10	3,30	3,50	3,85	ns	14,31
(Tronco)	65,70	59,10	61,10	69,10	63,75	ns	7,08

1/ médias de três árvores por clone; 2/ não significativo ( $p > 0,05$ ); 3/ coeficiente de variação de médias de clones  
 Fonte: Autora (2021).

Em termos médios, a produção de matéria seca de lenho e tronco dos materiais genéticos assumiu a sequência D19 > A3 > A12 > E4. A produção de lenho do clone D19 foi cerca de 35,7 % maior em relação ao clone E4. Essa diferença é importante, já que este tem interesse comercial, a maior alocação no componente permite identificar materiais genéticos mais promissores. Quando analisamos a partição da matéria seca dos compartimentos, observa-se que os clones D19 e A3 investem mais em produção de tronco, e o clone A12 em formação de copa (folhas + galhos).

### 3.1.3 Teor, conteúdo e partição de nutrientes

#### 3.1.3.1 Teor de macronutrientes

Vê-se, na tabela 4, que houve efeito significativo de clone para: N na folha, para S no galho; para Mg na casca e para Ca, P e Mg no lenho, o componente no qual houve o maior número de efeitos significativos de clone.

Na folha, o maior teor de N é o do clone E4, 12% superior ao do clone A3, o de menor teor.

No galho, o clone D19 apresentou o maior teor de S, o dobro do verificado nos na média dos demais clones.

Na casca, o menor teor de Mg foi o do clone D19, 25,6% menor do que a média dos demais clones.

No lenho, o teor de Ca do clone D19 é o menor e 59,5% inferior ao do clone A12, o de maior teor. Já o teor de P do clone A3 é o menor e 36,4% menor do que o dos demais clones; para Mg, o clone A3 é também o de menor teor 34,7% inferior à média dos demais clones.

Na folha, N, P e S foram os nutrientes com menor CV de médias de clones, em torno de 5%, vindo a seguir Mg, Ca e K, neste último o CV de médias de clones foi praticamente o dobro do verificado para N, P e S. Esses resultados podem evidenciar que na teca, a condição nutricional do órgão fotossintético varie dentro de limites mais estreitos para os ânions N, P e S.

A sequência dos teores de macronutrientes na componente folha para os clones é:  $N > Ca > K > Mg > S \sim P$ . Vale destacar o teor de Ca na folha (em média  $17,7 \text{ g kg}^{-1}$ ), apenas 18% inferior ao do teor de N, o que é compatível com a alta exigência em Ca pela teca, cabendo mencionar o fato de que ao se considerar um amplo elenco de culturas é o K, com muita frequência, o nutriente que ocupa a segunda posição, em termos de teor foliar vindo logo abaixo do N. A propósito, em povoamentos seminais de teca com 7,5 anos, na região de Tangará da Serra – MT, em solo com elevado teor de Ca trocável, os teores foliares de Ca foram elevados ( $35,5 \text{ kg kg}^{-1}$ ) e praticamente o dobro dos teores foliares de N ( $18,4 \text{ g kg}^{-1}$ ) (BEHLING, 2009).

Tabela 4. Médias<sup>1/</sup> de teores de macronutrientes em componentes da parte aérea de árvores de plantios clonais de teca, aos 48 meses, no município de São José dos Quatros Marcos-MT.

Nutriente (g/kg)	A3	A12	E4	D19	Média	F <sup>2/</sup>	CV <sup>4/</sup>
	Folhas						
N	20,6B	21,5AB	23,1A	21,3AB	21,63	*	4,88

K	6,5	8,1	6,6	7,8	7,25	ns	11,29
Ca	16,8	19,8	18,7	15,5	17,70	ns	10,85
P	1,06	1,14	1,23	1,18	1,16	ns	5,02
Mg	3,63	3,65	3,82	3,10	3,55	ns	8,47
S	1,19	1,27	1,30	1,22	1,25	ns	4,62
Galho							
N	2,71	2,94	2,90	3,01	2,89	ns	4,38
K	4,04	4,90	4,60	6,10	4,91	ns	18,02
Ca	6,59	6,61	6,79	5,54	6,38	ns	9,27
P	0,24	0,22	0,36	0,37	0,30	ns	38,49
Mg	1,58	1,16	1,89	1,29	1,48	ns	21,08
S	0,26B	0,25B	0,27B	0,52A	0,33	*	28,57
Casca							
N	6,83	6,59	6,00	6,00	6,36	ns	6,49
K	13,10	9,40	9,71	8,48	10,17	ns	19,81
Ca	14,4	17,3	19,6	16	16,83	ns	13,06
P	0,56	0,51	0,55	0,63	0,56	ns	10,50
Mg	2,67A	2,04AB	2,21AB	1,72B	2,16	*	19,55
S	0,35	0,38	0,33	0,39	0,35	ns	16,50
Lenho							
N	1,15	1,38	1,35	1,41	1,32	ns	7,23
K	2,54	2,83	2,37	2,11	2,47	ns	11,78
Ca	0,78BC	1,11A	0,94AB	0,66C	0,87	*	19,52
P	0,12B	0,18A	0,18A	0,18A	0,17	*	28,57
Mg	0,57B	0,79A	0,94A	0,83A	0,78	*	16,24
S	0,11	0,13	0,11	0,14	0,12	ns	12,25

1/ médias de três árvores por clone; 2/ \* significativo a 5% e ns: não significativo ( $p > 0,05$ ); 3/ coeficiente de variação de médias de clones.

Fonte: Autora (2021).

Os valores da relação teor Ca na casca /teor de Ca na folha (RCACF) – proposta em Neves (2000), para a cultura do eucalipto, como indicador da disponibilidade de Ca no solo do sítio (sendo que maiores valores de RCACF seriam indicativos de maior disponibilidade do nutriente) variaram em faixa relativamente estreita entre 0,86 (clone A3) e 1,03 (clone D19), com média geral dos quatro clones de 0,95, ou seja, menor do que 1. No trabalho, de Behling (2009), com teca seminal, aos 75 meses de idade, e a relação RCACF foi ainda menor (0,63) do que a verificada neste trabalho. Contudo, o valor médio de RCACF de povoamentos clonais cultivados em solo com pH H<sub>2</sub>O na faixa de 5,3 e teor de Ca trocável considerado baixo para a teca (em torno de 2,1 cmol/dm<sup>3</sup> em 0-20 cm e 0,74 cmol/dm<sup>3</sup> em 20-40 cm) foi 1,51. Nessa mesma área, Cavalcante (2017) verificou a existência de carência de Ca, com base no monitoramento foliar. Pode-se propor que RCACF possa indicar sobre a exigência fisiológica

de Ca pela cultura, sendo que menores valores dessa relação seriam indicativos de maior exigência fisiológica da cultura quanto ao Ca, o que merece estudos adicionais, mais aprofundados.

As relações duais entre os teores foliares de macronutrientes não sofreram efeito significativo de clone, e as correlações dos teores foliares de macronutrientes e de suas relações duais com a matéria seca de cada um dos componentes da parte aérea, com base em Pearson, testadas ao nível de 5% de probabilidade, foram todas não significativas.

Na folha, houve correlação significativa apenas entre os teores de N e P ( $r = 0,784$ ,  $p = 0,003$ ); entre os teores de N e S a correlação ficou próxima da significância ( $r = 0,569$ ,  $p = 0,054$ ).

Com base na análise de correlação entre os teores na folha e nos demais componentes, não houve correlações significativas com os teores no galho, e para com os demais componentes as correlações significativas foram as seguintes:

Folha, casca: N folha, Ca casca ( $r=0,791$ ,  $p = 0,002$ ); P folha, P casca ( $r = 0,605$ ,  $p=0,037$ ); P folha, Mg casca ( $r = - 0,671$ ,  $p = 0,017$ ).

Folha, lenho: N folha, Mg lenho ( $r = 0,642$ ,  $p = 0,024$ ).

Em termos médios, os teores de macronutrientes na folha para os clones avaliados são similares aos observados em plantios seminais de teca (BEHLING, 2009; OLIVEIRA, 2003, SANTOS, 2015) e clonais do Mato Grosso (SANTOS, 2015), com exceção do Ca que apresentou teor bem mais elevado no estudo de Behling, (2009), como anteriormente referido. Os teores também são semelhantes aos observados em plantios de teca na América Central (PORTUGUEZ, 2012; FERNANDEZ-MOYA et al., 2013; MURILLO et al., 2015).

Em relação aos teores de macronutrientes no lenho, a maior frequência de diferenças significativas entre os clones, para P, Ca e Mg, bem como os elevados valores de CV de médias de clones para esses nutrientes nesse componente, tabela 4, são de grande importância pois caso na colheita seja feito o descascamento do tronco no campo, o lenho é o componente exportado. Assim, um menor teor do nutriente no lenho resulta em menor exportação relativa à mesma quantidade de madeira produzida (maior coeficiente de utilização biológica, CUB), e vice-versa, o que é de grande importância para a sustentabilidade nutricional do solo do sítio. Contudo, no cenário ainda mais frequente para a cultura da teca, em que não se faz o descascamento do tronco no campo, assume importância o teor no tronco. Nesse sentido, ainda

que não mostrados na tabela 4, houve efeito significativo de clone ( $p < 0,05$ ) apenas sobre os teores de Mg no tronco, sendo o clone A3 o de menor teor de Mg ( $0,71 \text{ g kg}^{-1}$ ) e o clone E4 o de maior teor ( $1,0 \text{ g kg}^{-1}$ ).

Para os componentes galho e casca, a sequência dos teores entre nutrientes foi na seguinte ordem:  $\text{Ca} > \text{K} > \text{N} > \text{Mg} > \text{P} > \text{S}$  para a maioria dos clones, como também observado em alguns outros trabalhos com teca (BEHLING, 2009; SANTOS et al., 2015), exceto para galho, em que o clone D19 o K foi o nutriente em maior teor. Maiores teores de K em relação a outros macronutrientes no galho também foram observados em plantios jovens de teca em regiões da América Central (FERNANDEZ-MOYA et al., 2013).

No galho, as correlações significativas entre os teores de macronutrientes foram positivas e verificadas para P, K ( $r = 0,697$ ,  $p = 0,012$ ); P, S ( $r = 0,584$ ,  $p = 0,046$ ); K, S ( $r = 0,732$ ,  $p = 0,007$ ); Ca, Mg ( $r = 0,706$ ,  $p = 0,010$ ).

Na casca, a única correlação significativa entre os teores de macronutrientes foi positiva e verificada entre os teores de N e Mg ( $r = 0,609$ ,  $p = 0,036$ ).

A sequência dos teores de nutriente no lenho para os clones foi  $\text{K} > \text{N} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{P} > \text{S}$ , exceto para D19 em que há inversão da posição de Ca e Mg. Maior teor de K no lenho em relação aos outros macronutrientes foi observado no estudo de Santos (2015) em povoamento de teca clonal, no Mato Grosso, aos 63 meses de idade, já em estudo com teca seminal, no Panamá, e clonal, na Costa Rica, o teor de N no lenho foi superior ao de K (MURILLO et al., 2015; PORTUGUES, 2012).

No lenho, correlações significativas entre os teores de macronutrientes foram positivas e verificadas apenas para: N, P ( $r = 0,866$ ,  $p = 0,0004$ ) e N, S ( $r = 0,792$ ,  $p = 0,002$ ), como também verificado no tronco: N, P ( $r = 0,601$ ,  $p = 0,039$ ), N, S ( $r = 0,601$ ,  $p = 0,039$ ).

A comparação dos componentes da parte aérea quanto à capacidade de discriminar os clones estudados em relação aos teores de macronutrientes, com base na média dos valores de CV de média de clones (tabela 4), a sequência foi folha (7,5%) < casca (14,3%) < lenho (15,9%) < galho (19,9%), ou seja, a folha, componente da parte aérea com maior atividade fisiológica e metabólica, tem menor sensibilidade em discriminar os clones do que os demais componentes avaliados, o que sugere que, na folha, a condição nutricional seja mantida dentro de limites mais estreitos do que nos demais componentes, especialmente em relação aos componentes lenhosos.

### 3.1.3.2 Conteúdo e partição de macronutrientes

Não houve efeito significativo de clone sobre os conteúdos de macronutrientes nos componentes da parte aérea das árvores, exceto para S no galho (Tabelas 5 e 6).

Com base na média dos clones, a sequência observada dos macronutrientes quanto aos conteúdos, em g arv<sup>-1</sup>, na parte aérea das árvores (Tabelas 5 e 6), foi a seguinte:

Ca (419,5) > N (387,5) > K (336,9) > Mg (114,6) > P (29,0) > S (27,8).

Em povoamentos clonais de teca (mix dos clones A1 e A3), cultivados em solo de textura média e com baixo teor de matéria orgânica, de baixa fertilidade, mas que havia sido submetido à calagem e fertilizações minerais intensivas, árvores com dap pouco maiores do que as deste trabalho, também com a mesma população (625 arv/ha), Santos (2015) observou a seguinte sequência dos conteúdos, em g arv<sup>-1</sup>, na parte aérea das árvores:

Ca (337,3) > K (287,4) > N (279,2) > Mg (147,4) > S (52,7) > P (19,3).

Considerando 625 árv ha<sup>-1</sup>, os conteúdos obtidos neste trabalho e no de Santos (2015), expressos em kg ha<sup>-1</sup>, são:

Neste trabalho: Ca (262,2) > N (242,2) > K (210,6) > Mg (71,6) > P (18,1) > S (17,4);

Em Santos (2015): Ca (210,8) > K (179,6) > N (174,5) > Mg (92,1) > S (33,0) > P (12,1).

Já em povoamentos seminais de teca, com 7,5 anos, de elevada produtividade, cultivados em solo argiloso, de elevada fertilidade natural (exceto para P), sem calagem e sem fertilização mineral, e com histórico de cerca de 30-40 anos com pastagem, Behling (2009) verificou a seguinte sequência quanto aos conteúdos de macronutrientes na parte aérea, expressos em kg ha<sup>-1</sup>:

Ca (642,0) > K (580,0) > N (311,1) > Mg (94,7) > P (81,0) > S (40,4)

A comparação dessas sequências, todas obtidas em sítios florestais no Mato Grosso, evidencia que Ca é o nutriente com maior acúmulo pela teca, tanto clonal como seminal, vindo a seguir K e N, após Mg, e P e S são os com menor acúmulo. Contudo, Alvarado, (2006) ao analisar os dados da dinâmica de acumulação de macronutrientes, em plantios seminais de teca na Nigéria, de 1 a 15 anos de idade, para biomassa da parte aérea, observou que os requerimentos de nutrientes aumentavam com a idade da árvore, e seguiam a seguinte ordem: K > Ca > N > P > Mg.

Tabela 5. Médias<sup>1/</sup> de conteúdos de N, P e K em componentes da parte aérea de árvores de plantios de clones de teca, aos 48 meses, em São José dos Quatros Marcos-MT

Componente	A3	A12	E4	D19	Média	F <sup>2/</sup>	CV <sup>3/</sup>
	Conteúdo de N (g árv <sup>-1</sup> )						
Folhas	231,3	211,3	273,9	245,4	240,5	ns	10,9

Galho	48,5	69,9	48,4	57,5	56,1	ns	18,1
(Copa)	279,8	281,2	322,3	302,9	296,6	ns	6,8
Lenho	62,7	68,6	56,8	91,1	69,8	ns	21,4
Casca	26,3	22,8	14,5	21,0	21,1	ns	23,5
(Tronco)	89,1	91,5	71,3	112,0	91,0	ns	18,3
(Parte área)	368,9	372,7	393,6	414,9	387,5	ns	5,5
Conteúdo de P (g árv <sup>-1</sup> )							
Folhas	11,8	11,2	14,9	13,7	12,9	ns	13,0
Galho	4,1	5,5	5,9	7,2	5,7	ns	22,7
(Copa)	15,9	16,7	20,8	20,9	18,6	ns	14,3
Lenho	6,1	9,0	7,6	11,8	8,6	ns	28,0
Casca	2,1	1,8	1,3	2,2	1,9	ns	21,4
(Tronco)	8,2	10,8	8,9	14,0	10,5	ns	24,5
(Parte área)	24,2	27,5	29,7	34,9	29,0	ns	15,5
Conteúdo de K (g árv <sup>-1</sup> )							
Folhas	71,9	79,2	79,1	90,4	80,1	ns	9,6
Galho	64,5	126,9	76,7	113,6	95,4	ns	31,0
(Copa)	136,3	206,0	155,8	204,0	175,5	ns	19,9
Lenho	130,7	141,7	99,5	135,5	126,8	ns	14,8
Casca	52,6	31,8	23,7	30,0	34,5	ns	36,4
(Tronco)	183,3	173,5	123,2	165,5	161,4	ns	16,4
(Parte área)	319,6	379,6	278,9	369,5	336,9	ns	13,9

1/ médias de três árvores por clone; 2/ \* significativo a 5% e ns: não significativo ( $p > 0,05$ ); 3/ coeficiente de variação de médias de clones.

Fonte: Autora (2021).

Tabela 6. Médias<sup>1/</sup> de conteúdos de Ca, Mg e S em componentes da parte aérea de árvores de plantios de clones de teca, aos 48 meses, em São José dos Quatros Marcos-MT

Componente	A3	A12	E4	D19	Média	F <sup>2/</sup>	CV <sup>3/</sup>
	Conteúdo de Ca (g árv <sup>-1</sup> )						
Folhas	180,8	198,1	215,0	182,5	194,1	ns	8,2

Galho	120,2	168,7	113,4	102,2	126,1	ns	23,3
(Copa)	301,0	366,8	328,4	284,7	320,2	ns	11,2
Lenho	42,6	51,9	39,6	44,3	44,6	ns	11,7
Casca	56,8	59,0	46,9	56,1	54,7	ns	9,8
(Tronco)	99,4	110,9	86,6	100,4	99,3	ns	10,0
(Parte área)	400,4	477,7	414,9	385,0	419,5	ns	9,7
Conteúdo de Mg (g árv <sup>-1</sup> )							
Folhas	41,1	33,8	44,3	35,2	38,6	ns	12,8
Galho	29,5	27,8	31,5	24,3	28,2	ns	10,8
(Copa)	70,6	61,5	75,7	59,5	66,9	ns	11,4
Lenho	30,7	36,8	39,5	55,2	40,5	ns	25,7
Casca	10,6	7,0	5,2	6,0	7,2	ns	33,0
(Tronco)	41,2	43,8	44,8	61,1	47,7	ns	19,0
(Parte área)	111,8	105,3	120,5	120,7	114,6	ns	6,5
Conteúdo de S (g árv <sup>-1</sup> )							
Folhas	13,4	12,7	15,7	13,8	13,9	ns	9,3
Galho	4,2B	6,5AB	4,4AB	9,6A	6,2	*	40,6
(Copa)	17,6	19,2	20,1	23,5	20,1	Ns	12,4
Lenho	6,1	6,3	4,7	8,9	6,5	Ns	26,7
Casca	1,4	1,4	0,8	1,4	1,2	Ns	23,4
(Tronco)	7,4	7,7	5,5	10,2	7,7	Ns	25,2
(Parte área)	25,0	26,9	25,6	33,7	27,8	ns	14,4

1/ médias de três árvores por clone; 2/ \* significativo a 5% e ns: não significativo ( $p > 0,05$ ); 3/ coeficiente de variação de médias de clones.

Fonte: Autora (2021).

Com base nos valores de média dos clones (Tabelas 5 e 6), e considerando a idade das árvores avaliadas neste trabalho (4 anos), as taxas médias de acumulação de macronutrientes, em kg há ano<sup>-1</sup>, são:

Ca (65,6) > N (60,6) > K (52,7) > Mg (17,9) > P (4,53) > S (4,35)

Comparando os conteúdos de macronutrientes entre os componentes da parte aérea, e com base na média dos clones avaliados, as seguintes sequências foram observadas, com base nas Tabelas 5 e 6:

N: folha > lenho > galho > casca; P: folha > lenho > galho > casca;

K: lenho > galho > folha > casca; Ca: folha > galho > casca > lenho;

Mg: lenho > folha > galho > casca; S: folha > lenho > galho > casca.

Assim, neste trabalho, a folha foi o componente com os maiores acúmulos de N, P, Ca e S, e a casca o componente com menor acúmulo, exceto quanto ao Ca, para o qual o lenho foi o componente com menor acúmulo. Essas sequências refletem os padrões observados para a

biomassa e os teores de nutrientes, que se refletem nas respectivas partições, mostradas nas Tabelas 7 e 8.

O conteúdo total do nutriente na planta pode ser considerado indicador de eficiência de aquisição de nutrientes, permitindo uma comparação de materiais genéticos, (ARAÚJO, 2000), se os mesmos são cultivados nas mesmas condições de sítio (clima, relevo e solo) e de manejo, como feito neste trabalho. Nesse sentido, os efeitos não significativos de clone, para todos os macronutrientes, sobre os conteúdos de macronutrientes na parte aérea são indicativos de eficiências de aquisição semelhantes entre os clones avaliados, proposição também suportada pelas variabilidades médias entre clones, com base no CV de médias de clones, mostradas nas Tabelas 5 e 6, que, na média dos macronutrientes, foi de 10,9%, variando de 5,5% para N a 15,5% para P, valores que podem ser considerados relativamente baixos tendo em vista às distintas procedências dos clones avaliados.

Analisando as partições de macronutrientes, com base nas Tabelas 7 e 8, vê-se que efeitos significativos para clone foram apenas no componente casca, exceto para o Ca. Essas diferenças entre clones na partição de nutrientes para a casca, não se refletem, contudo, em diferenças significativas na partição para o tronco, em razão de não ter havido efeito de clone quanto à partição para o lenho, componente cuja biomassa é muito maior (em torno de 15,9 vezes, com base nas médias dos clones, Tabela 4) em relação à de casca.

Comparando os nutrientes quanto à partição (%) para as folhas, pela média dos clones, tem-se: N (60,8) > S (49,6) > Ca (45,8) > Mg (33,4) > K (23,6), tabelas 7 e 8, informações importantes tendo em vista o hábito caducifólio da teca, pois fornece o potencial de retorno anual desses nutrientes em relação às respectivas quantidades acumuladas na parte aérea. Por sua vez, o retorno anual efetivo depende da taxa de liberação de cada nutriente durante a decomposição do litter, no caso do folhedo. Nesse sentido, a sequência decrescente quanto à velocidade de liberação, com base nos valores de  $T_{1/2}$  (intervalo de tempo em que ocorre 50% de liberação do nutriente, aqui expressos em ano) verificada em povoamento de teca clonal (mix dos clones A1 e A3) por CAVALCANTE et al. (2020) foi:

K (0,087) > Ca (0,474) > Mg (0,662) > C (0,759) > P (1,013) > N (1,208), sequência que indica que as liberações de K, Ca e Mg antecederam a decomposição do folhedo, e as de P e N sucederam tal decomposição.

Tabela 7. Médias<sup>1/</sup> de partição do conteúdo de N, P e K em componentes da parte aérea de árvores de plantios de clones de teca, aos 48 meses, em São José dos Quatros Marcos-MT.

Componente	A3	A12	E4	D19	Média	F <sup>2/</sup>	CV <sup>3/</sup>
------------	----	-----	----	-----	-------	-----------------	------------------

Partição de N (%)							
Folhas	63,1	53,8	68,4	58,1	60,8	ns	10,4
Galho	13,3	21,9	12,9	14,3	15,6	ns	27,3
(Copa)	76,4	75,6	81,3	72,3	76,4	ns	4,8
Lenho	16,6	18,0	15,0	22,6	18,0	ns	18,1
Casca	7,1 A	6,4A	3,7B	5,1AB	5,6	*	26,4
(Tronco)	23,7	24,4	18,7	27,7	23,6	ns	15,7
Partição de P (%)							
Folhas	48,6	39,1	48,7	38,3	43,7	ns	13,1
Galho	17,8	21,7	20,7	21,1	20,3	ns	8,5
(Copa)	66,5	60,9	69,3	59,5	64,0	ns	7,3
Lenho	24,8	32,6	26,2	34,2	29,4	ns	15,9
Casca	8,8 A	6,6B	4,5C	6,3BC	6,5	*	26,9
(Tronco)	33,5	39,1	30,7	40,6	36,0	ns	13,0
Partição de K (%)							
Folhas	22,6	20,1	28,0	23,8	23,6	ns	14,1
Galho	21,8	34,5	27,5	31,0	28,7	ns	18,8
(Copa)	44,4	54,6	55,5	54,9	52,3	ns	10,1
Lenho	40,0	36,7	36,1	37,1	37,5	ns	4,6
Casca	15,6 A	8,7B	8,4B	8,0B	10,2	*	35,7
(Tronco)	55,6	45,4	44,5	45,2	47,7	ns	11,1

1/ médias de três árvores por clone; 2/ \* significativo a 5% e ns: não significativo ( $p > 0,05$ ); 3/ coeficiente de variação de médias de clones.

Fonte: Autora (2021).

Tabela 8. Médias<sup>1/</sup> de partição do conteúdo de Ca, Mg e S em componentes da parte aérea por árvore em plantios de clones de teca cálcio, magnésio e enxofre, no município de São José dos Quatros Marcos-MT

Componente	A3	A12	E4	D19	Média	F <sup>2/</sup>	CV <sup>3/</sup>
Partição de Ca (%)							
Folhas	46,5	39,0	51,0	46,8	45,8	ns	10,8
Galho	29,4	37,3	28,0	25,9	30,1	ns	16,7
(Copa)	75,9	76,4	78,9	72,7	76,0	ns	3,4
Lenho	10,2	10,9	9,8	12,1	10,8	ns	9,2
Casca	13,9	12,8	11,3	15,3	13,3	ns	12,8
(Tronco)	24,1	23,7	21,1	27,4	24,0	ns	10,7
Partição de Mg (%)							
Folhas	37,5	30,6	36,4	29,1	33,4	ns	12,6
Galho	25,9	28,3	26,3	19,8	25,1	ns	14,7
(Copa)	63,5	58,9	62,7	48,8	58,5	ns	11,5
Lenho	27,1	34,5	32,9	46,0	35,1	ns	22,5
Casca	9,4 A	6,7AB	4,3B	5,1B	6,4	*	35,0
(Tronco)	36,5	41,1	37,3	51,2	41,5	ns	16,2
Partição de S (%)							
Folhas	53,1	44,7	59,6	40,8	49,6	ns	17,0
Galho	18,0	27,2	18,3	28,4	23,0	ns	24,3
(Copa)	71,1	71,9	77,9	69,2	72,5	ns	5,2
Lenho	23,5	23,3	19,0	26,7	23,1	ns	13,8
Casca	5,4 A	4,9AB	3,1C	4,0AB	4,3	*	22,5
(Tronco)	28,9	28,1	22,1	30,8	27,5	ns	13,6

1/ médias de três árvores por clone; 2/ \* significativo a 5% e ns: não significativo ( $p > 0,05$ ); 3/ coeficiente de variação de médias de clones.

Fonte: Autora (2021).

Tendo em vista o manejo com desramas periódicas artificiais, intra anuais, realizadas nos povoamentos de teca, é importante considerar não apenas a partição para as folhas, mas para a copa como um todo. Por essa razão, assume importância também a partição para o galho, se se deseja estimar a contribuição nutricional, via ciclagem biogeoquímica. Comparando os nutrientes quanto à partição (%) para o galho, pela média dos clones, tem-se: Ca (30,1) > K (28,7) > Mg (25,1) > S (23,0) > P (20,3) > N (15,6), tabelas 7 e 8, sendo importante considerar, entretanto, que na desrama artificial de 30 a 50% da copa são podados. Em relação a essa elevada partição de K para o galho, há registro, na literatura, de que na teca, K pode ser acumulado principalmente nos galhos nos anos iniciais de crescimento (MURILLO et al. 2015).

Os resultados obtidos neste trabalho indicam que a copa concentra a maior parte do acúmulo de nutrientes para a parte aérea, na sequência:

N (76,4%) ~ Ca (76,0%) > S (72,5%) > P (64,0%) > Mg (58,5%) > K (52,3%).

Deve ser considerado, contudo, que os plantios dos clones avaliados neste trabalho são plantios jovens, com 4 anos, e que a alocação para a copa de carboidratos advindos da

fotossíntese (CALDEIRA, 1998) que é elevada em plantios jovens, decresce, aumentando para o lenho, com a idade das árvores. Nessa mesma linha, em plantios jovens de teca é frequente observar que as folhas acumulem mais N, Ca e K (OLA-ADAMS 1993; KUMAR et al., 2009; FERNANDEZ-MOYA et al. 2014), que, com o desenvolvimento do povoamento, sofrem decréscimo na folhagem. Adicionalmente, cabe observar que o nutriente mais absorvido varia conforme a disponibilidade do nutriente do solo, e a velocidade de aquisição do nutriente pela planta (FERNANDEZ-MOYA et al. 2014).

O manejo mais comumente adotado nos plantios de teca envolve, além das desramas artificiais e da deposição anual de folhas, esta resultante do hábito caducifólio da cultura, a realização de desbastes periódicos (no Brasil, mais frequentemente a cada 4 – 5 anos), não sendo comum o descascamento do tronco por ocasião da colheita das árvores. Dessa forma, assume relevância a análise da partição do conteúdo de nutrientes para o tronco.

Nas tabelas 7 e 8, vê-se que não houve efeito significativo de clone sobre a partição de macronutrientes para o tronco, o que indica que a exportação relativa de cada um dos nutrientes, por ocasião da colheita do tronco, seja semelhante entre os clones avaliados. Assim, em termos da média dos clones, a sequência decrescente dos nutrientes quanto à partição para o tronco é:

$$K (47,7\%) > Mg (41,5\%) > P (36,6\%) > S (27,5\%) > Ca (24,0\%) \sim N (23,6\%)$$

Em plantio clonal de teca na Costa Rica, a partição de K para o tronco tendeu a decrescer entre o quarto e sexto ano, já a de Mg decresceu do início de crescimento até o quarto ano (PORTUGUEZ, 2012). Ainda, o baixo valor médio da partição de N para o tronco observado na tabela 7 contrasta com o verificado em teca (58%), por Murillo et al., (2015).

Num cenário em que se faça o descascamento do tronco, e a manutenção da casca na área, os valores de partição de nutrientes para a casca geralmente assumem importância prática. Neste trabalho, o clone A3, exceto para o Ca, foi o que apresentou maior partição de macronutrientes para a casca, e o E4 a menor partição. De todo modo, os valores observados de partição para a casca são muito inferiores aos verificados em outras culturas florestais, a exemplo das do gênero *Eucalyptus*.

### 3.1.4 Eficiência de Utilização de Nutrientes

### 3.1.4.1 Índice de utilização biológica ( $EUN_{uij}$ )

Não houve efeito significativo de clone sobre os valores do índice de utilização biológica ( $EUN_{uti}$ ) de macronutrientes para a produção dos componentes da parte aérea (Tabelas 9 e 10).

Com base nessas tabelas, comparando os componentes da parte aérea, considerando a média dos clones, verifica-se, para P, K, Ca e Mg a sequência casca < folha < galho < lenho, e para N e S a sequência, folha~casca < galho < lenho. Ou seja, folha e casca são os componentes com menor eficiência de utilização e o lenho o componente para o qual a utilização dos nutrientes é maior. Em essência, o índice  $EUN_{uti}$  relaciona a matéria seca produzida com o teor do nutriente nessa matéria seca. A base desse relacionamento é que o teor do nutriente, mesmo em forma total, relaciona-se à forma ativa do nutriente, utilizada pelo metabolismo e que resulta em produção de matéria seca.

Não obstante o efeito não significativo de clone sobre os valores de EU de todos os macronutrientes avaliados nos componentes da parte aérea, o que pode ser resultante da alta variabilidade intra-clone, a observação dos valores de CV de médias de clones permite informar sobre a capacidade discriminatória do componente quanto à eficiência de utilização do nutriente. Nesse sentido, tem-se as seguintes sequências crescentes:

N: folha < casca < galho < lenho; P: folha < casca < lenho < galho

K: folha < galho < casca < lenho; Ca: folha < galho < casca < lenho

Mg: folha < casca < lenho < galho; S: folha < lenho < casca < galho

Assim, a folha foi o componente com a menor capacidade de discriminar os clones quanto à utilização dos macronutrientes, e os componentes lenho e galho, com a mesma frequência, os componentes com maior capacidade discriminatória.

Tabela 9. Médias<sup>1/</sup> de índice de utilização biológica de nutrientes ( $EU^{2/}$ ) para N, P e K em componentes de árvores de clones de teca, aos 48 meses, em São José dos Quatros Marcos-MT.

Componente	A3	A12	E4	D19	Média	F <sup>3/</sup>	CV <sup>4/</sup>
	EU de N (kg <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )						
Folhas	0,54	0,47	0,51	0,53	0,51	ns	6,0
Galho	6,62	9,05	5,94	6,46	7,02	ns	19,7
(Copa)	7,2	9,5	6,5	7,0	7,5	ns	18,1
Lenho	47,92	35,39	31,52	49,66	41,12	ns	21,9
Casca	0,61	0,55	0,40	0,58	0,54	ns	17,4
(Tronco)	48,52	35,95	31,92	50,24	41,66	ns	21,8
(Parte área)	55,68	45,47	38,37	57,23	49,19	ns	18,1
EU de P (kg <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )							
Folhas	10,5	8,9	9,5	9,5	9,6	ns	7,0
Galho	81,7	115,2	53,6	51,8	75,6	ns	39,3
(Copa)	92,2	124,0	63,1	61,4	85,2	ns	34,7
Lenho	496,8	269,7	237,2	392,9	349,2	ns	34,1
Casca	7,2	7,2	4,3	5,6	6,1	ns	22,9
(Tronco)	504,0	276,9	241,5	398,5	355,2	ns	33,7
(Parte área)	596,2	401,0	304,6	459,8	440,4	ns	27,7
EU de K (kg <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )							
Folhas	5,2	3,8	5,4	4,4	4,7	ns	15,5
Galho	16,3	14,9	12,0	9,9	13,3	ns	21,6
(Copa)	21,5	18,7	17,3	14,3	18,0	ns	16,6
Lenho	71,8	51,5	55,5	101,1	70,0	ns	32,2
Casca	0,9	1,2	0,7	1,2	1,0	ns	24,0
(Tronco)	72,7	52,8	56,2	102,4	71,0	ns	31,9
(Parte área)	94,3	71,4	73,5	116,7	89,0	ns	23,8

1/ médias de três árvores por clone; 2/ EU = MS<sup>2</sup>/conteúdo do nutriente (Sidiqui & Glass, 1981); 3/ ns: não significativo (p>0,05); 4/ coeficiente de variação de médias de clones

Fonte: Autora (2021).

Tabela 10. Médias<sup>1/</sup> de índice de utilização biológica de nutrientes (EU<sup>2/</sup>) para Ca, Mg e S em componentes de árvores de clones de teca, aos 48 meses, em São José dos Quatros Marcos-MT.

Componente	A3	A12	E4	D19	Média	F <sup>3/</sup>	CV <sup>4/</sup>
------------	----	-----	----	-----	-------	-----------------	------------------

EU de Ca (kg <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )							
Folhas	0,70	0,50	0,68	0,73	0,65	ns	15,9
Galho	2,67	3,73	2,55	4,28	3,31	ns	25,3
(Copa)	3,4	4,2	3,2	5,0	4,0	ns	20,8
Lenho	70,6	47,6	45,1	100,5	66,0	ns	39,0
Casca	0,27	0,22	0,12	0,22	0,21	ns	30,3
(Tronco)	70,9	47,8	45,3	100,7	66,2	ns	38,9
(Parte área)	74,3	52,0	48,5	105,7	70,1	ns	37,6
EU de Mg (kg <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )							
Folhas	3,04	2,98	3,18	3,73	3,23	ns	10,6
Galho	11,1	23,4	9,3	16,6	15,1	ns	42,1
(Copa)	14,1	26,3	12,5	20,3	18,3	ns	34,6
Lenho	100,5	69,1	46,3	82,2	74,5	ns	30,6
Casca	1,46	1,85	1,11	2,05	1,6	ns	25,8
(Tronco)	99,0	67,3	45,1	80,1	72,9	ns	31,1
(Parte área)	114,6	95,4	58,7	102,5	92,8	ns	25,9
EU de S (kg <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )							
Folhas	9,3	7,8	9,0	9,4	8,9	ns	8,2
Galho	79,0	97,9	66,8	40,4	71,0	ns	33,9
(Copa)	88,3	105,7	75,8	49,8	79,9	ns	29,4
Lenho	506,5	392,6	387,8	515,9	450,7	ns	15,5
Casca	11,3	9,5	7,4	9,0	9,3	ns	17,2
(Tronco)	506,5	392,6	387,8	515,9	450,7	ns	15,5
(Parte área)	594,8	498,3	463,6	565,7	530,6	ns	11,4

1/ médias de três árvores por clone; 2/  $EU = MS^2/\text{conteúdo do nutriente}$  (Sidiqui & Glass, 1981); 3/ ns: não significativo ( $p > 0,05$ ); 4/ coeficiente de variação de médias de clones

Fonte: Autora (2021).

Cabe considerar, contudo, que os valores de EU, da forma pela qual foram obtidos, são indicativos de uma eficiência de utilização compartimentalizada, ao relacionarem a produção de matéria seca de cada componente com o teor do nutriente nessa mesma matéria seca. Assim, e pensando em produção biológica, parece interessante a análise do EU para a produção de parte aérea, de modo a avaliar a sequência dos nutrientes quanto à capacidade de discriminar os clones, análise feita com base no CV de médias de clones, que resulta na sequência:  $S < N < K < Mg < P < Ca$ , que indica o Ca como o nutriente que apresentou a maior capacidade de discriminar os clones quanto a produção biológica, cerca de 3,3 vezes em relação a do S.

### 3.1.4.2 Coeficiente de Utilização Biológica Integralizado (CUBINuti).

Exceto para Ca, não houve efeito significativo de clone quanto ao coeficiente de utilização biológica integralizado (CUBI) dos macronutrientes, tanto para a produção de lenho como para a produção de tronco (tabela 11).

Tabela 11. Médias<sup>1/</sup> de coeficiente de utilização integralizado ( $CUBi^{2/}$ ) de macronutrientes para produção de lenho e de tronco em clones de teca, aos 48 meses, em São José dos Quatros Marcos-MT.

Nutriente	A3	A12	E4	D19	Média	F <sup>3/</sup>	CV <sup>4/</sup>
	Para Produção de Lenho (kg kg <sup>-1</sup> )						
N	143,7	130,7	111,1	159,9	136,6	ns	15,14
K	166,2	130,7	157,7	178,0	158,2	ns	12,71
P	2169,8	1794,0	1450,1	1886,4	1825,1	ns	16,26
Ca	131,4AB	99,1B	104,2B	180,2 A	128,7	*	28,84
Mg	486,3	444,3	351,7	556,9	459,8	ns	18,64
S	2108,4	1796,5	1701,5	1973,3	1894,9	ns	9,58
Para Produção de Tronco (kg kg <sup>-1</sup> )							
N	154,3	140,3	117,3	168,4	145,1	ns	15,02
K	178,2	140,6	166,3	187,5	168,2	ns	12,08
P	2327,5	1927,1	1531,0	1987,3	1943,2	ns	16,80
Ca	141,0AB	106,4B	110,0AB	189,9 A	136,8	*	28,25
Mg	522,1	476,9	371,6	586,7	489,4	ns	18,50
S	2262,1	1930,2	1796,8	2078,2	2016,8	ns	9,91

1/ médias de três árvores por clone; 2/  $CUBi$  = Matéria Seca de Lenho ou de Tronco / conteúdo do nutriente na parte aérea; 3/ ) \* significativo a 5%; ns:não significativo ( $p>0,05$ ); 4/ coeficiente de variação de médias de clones  
Fonte: Autora (2021).

Em relação ao  $CUBiCa$ , tanto para a produção de lenho como para tronco, as maiores médias foram obtida pelos clones D19 e A3 e a menor para o A12 (tabela 11); nessa tabela, vê-se que Ca foi, também, o nutriente que mais discriminou os clones, com base no CV de médias de clones (tabela 11), como também observado para o  $EUCa$  para a produção de parte aérea.

O  $CUBi$  é um índice que fornece idéia da eficiência com que a quantidade total do nutriente absorvido pela planta (neste trabalho, o acúmulo na parte aérea), obtido pela integração de seu conteúdo nos componentes da planta (e, assim, do custo nutricional, por nutriente) é utilizado para a produção do componente de interesse comercial. Um menor valor de  $CUBi$  é indicativo de maior custo nutricional e vice-versa.

Comparando os macronutrientes, com base nos respectivos valores de  $CUBi$ , para a produção de lenho ou de tronco, verifica-se a sequência:  $Ca < N < K < Mg < P < S$ .

### 3.1.4.3 Índice de Utilização Foliar do Nutriente (IUF*Nuti*) para a produção de parte aérea e dos componentes de interesse comercial (tronco ou lenho)

Em povoamentos florestais em que se objetiva a produção de madeira, o tronco ou o lenho são resultantes da assimilação de carbono, pelo processo de fotossíntese, processo que depende também da nutrição mineral, e que ocorre nas folhas. Desse modo, o quociente entre o incremento médio anual em biomassa de tronco, ou de lenho do fuste, e o conteúdo do nutriente na folha é um índice da eficiência com que o nutriente é utilizado na folha para a produção do componente de interesse comercial, como proposto por Santos (2015). Cabe esclarecer que o uso do incremento médio anual de tronco ou de lenho se justifica no caso da teca, dado o hábito caducifólio da cultura, sendo o tempo de vida da folha na planta de um (1) ano aproximadamente.

Neste trabalho, não houve efeito significativo de clone no índice de utilização foliar (IUF*Nut*) dos macronutrientes, tanto para a produção de tronco e de lenho (Tabela 12), evidenciando utilização semelhante pela folha para a produção de tronco ou de lenho.

Tabela 12. Médias<sup>1/</sup> de Índice de utilização foliar nutricional (IUF*Nut*<sup>2/</sup>) para produção de biomassa de tronco e de lenho em clones de teca, aos 48 meses, em São José dos Quatro Marcos - MT.

Nutriente	A3	A12	E4	D19	Média	F <sup>3/</sup>	CV <sup>4/</sup>
Para Produção de Tronco (kg kg <sup>-1</sup> )							
N	61,3	67,0	43,7	72,9	61,2	ns	20,6
K	195,8	178,8	157,0	202,7	183,6	ns	11,1
P	1193,1	1257,6	833,5	1318,9	1150,8	ns	18,9
Ca	78,0	75,4	56,2	101,6	77,8	ns	23,9
Mg	348,7	394,9	261,7	508,2	378,4	ns	27,1
S	1062,8	1139,8	784,1	1266,9	1063,4	ns	19,2
Para Produção de Lenho (kg kg <sup>-1</sup> )							
N	57,1	62,5	41,4	69,2	57,5	ns	20,6
K	182,6	166,5	148,9	192,1	172,5	ns	11,0
P	1112,0	1172,2	789,7	1250,9	1081,2	ns	18,7
Ca	72,8	70,4	53,3	96,3	73,2	ns	24,2
Mg	324,9	368,2	248,0	482,4	355,9	ns	27,5
S	990,4	1063,2	743,1	1202,3	999,7	ns	19,2

1/ médias de três árvores por clone; 2/IUF*Nut* = IMA Biomassa do componente/Conteúdo do nutriente na folha; 3/ ns:não significativo (p>0,05); 4/ coeficiente de variação de médias de clones.

Fonte: Autora (2021).

O conteúdo do nutriente na folha resulta do produto de sua biomassa pelo teor do nutriente. Por sua vez, a biomassa da folha relaciona-se à área foliar, e, assim, à extensão da superfície fotossintetizante da árvore, uma propriedade extensiva da matéria, relacionada à interceptação da radiação fotossinteticamente ativa. Já o teor do nutriente na folha relaciona-se à sua qualidade nutricional, uma propriedade intensiva da matéria. Assim, o conteúdo do nutriente na folha integra a extensão e a qualidade nutricional da superfície fotossintetizante. Em povoamentos florestais a produção de madeira relaciona-se não apenas à área foliar da árvore (ou ao índice de área foliar do povoamento, IAF), mas também à qualidade nutricional da folha e a seu grau de hidratação, a exemplo do verificado por Lourenço (2009), para eucalipto clonal, em que, o  $R^2$  do relacionamento da produção de madeira com o IAF foi de 0,52, aumentando para 0,69, um aumento relativo de 30%, pela inclusão dos teores de N, K, Mg e S e do conteúdo relativo de água num modelo de regressão múltipla.

Em geral, os valores de IUFNut para produção de tronco e de lenho para todos os clones seguem a seguinte sequência decrescente:  $P > S > Mg > K > Ca > N$  (Tabela 12), semelhantemente ao observado por Santos (2015) em plantio clonal de teca (mix dos clones A1 e A3) no Mato Grosso.

Não obstante o efeito não significativo de clone, já comentado, a análise dos valores de CV de médias de clone evidencia terem sido Mg e Ca os nutrientes com maior e K o nutriente com menor capacidade de discriminar os clones (Tabela 12).

### 3.1.5 Magnitude da ciclagem bioquímica e sua contribuição para a acumulação de nutrientes

Os teores de N, P, K e S nas folhas decresceram em todos os clones (e o de Mg no clone A12) da primeira época de avaliação (janeiro de 2019) para julho de 2019, esta última no período que antecede a desfolha natural, contrariamente ao observado para o Ca cujos teores se elevaram (Tabela 13); O Ca é um elemento tido como imóvel no floema, não sendo por ele redistribuído, se acumulando em tecidos mais velhos (EPSTEIN & BLOOM, 2006; MARSCHNER, 2002), sendo assim importante na ciclagem biogeoquímica, mas não sofrendo ciclagem bioquímica importante. Já o Mg embora seja tido como nutriente móvel no floema, na senescência tende a se mover das partes mais novas para as partes mais velhas, sendo comum, segundo Malavolta (2006), encontrar maior concentração de magnésio em folhas mais velhas do que em folhas jovens, nessa mesma linha, Mendes et al., (2012) mencionam que a concentração de Mg aumenta com o envelhecimento das folhas.

Tabela 13. Teores Foliare de N, K, Ca, P, Mg e S em Clones de Teca, em janeiro e julho de 2019.

Clone	Época	N	K	Ca	P	Mg	S
				g/kg			
A12	jan/19	21,54	8,07	19,79	1,14	3,65	1,27
A3	jan/19	20,60	6,49	16,82	1,06	3,63	1,19
D19	jan/19	21,31	7,76	15,49	1,18	3,10	1,22
E4	jan/19	23,07	6,58	18,71	1,23	3,82	1,30
A12	jul/19	10,59	7,56	33,08	0,82	2,82	0,87
A3	jul/19	14,06	5,87	25,95	0,81	3,78	0,80
D19	jul/19	15,99	5,94	24,37	0,95	3,41	0,97
E4	jul/19	14,10	4,49	30,61	0,89	5,40	0,84

Fonte: Autora (2021).

Não houve efeito de clone sobre os valores da Magnitude relativa ciclagem bioquímica (MRCB %) em nível de folhas, de lenho e em ambos (folha + lenho) para N, P, K, Mg e S (Tabela 14).

Nas folhas, apesar de os valores numéricos das MRCB de N, S, P e K decrescerem nessa ordem, elas foram semelhantes entre si, com base nos valores de intervalo de confiança a 95% de probabilidade (IC95%), como também verificado na comparação entre a MRCB de K e de Mg, esta última menor do que as de N, S e P (tabela 12).

Os valores de MRCB em nível de folha obtidos neste trabalho, com base na média dos clones, se comparados aos obtidos no extrato inferior da copa por Cavalcante (2017) em povoamento clonal de teca, (mix dos clones A1 e A3) na região de Nova Maringá – MT, com 4,5 anos de idade, são: maior para N (60,2% +/- 6,6% neste trabalho vs 41%), semelhante para P (52,8% +/- 5,2 neste trabalho vs 48,7%) e menores para K (48,7% +/- 8,2% neste trabalho vs 59,9%) e para Mg (31,8% +/- 12,8% neste trabalho vs 47,3%).

No lenho, verifica-se que o K foi o nutriente mais ciclado e Mg o menos ciclado pela via bioquímica (Tabela 14). A MRCB de K, contudo, não difere estatisticamente da MRCB de P, como também verificado entre a MRCB de N e de S.

No lenho, os valores de MRCB obtidos neste trabalho, com base na média dos clones, comparados aos de Cavalcante (2017) são: para N - maiores ou com tal tendência (59,1% +/- 10,0% neste trabalho vs 47,1%), para P – semelhantes (71,8% +/- 7,0% neste trabalho vs 74%), para K – maiores (80,0 +/- 5,7% neste trabalho vs 59,4%), para Mg – menores ou com tal tendência (12,4% +/- 14,7% vs 21,9%).

Tabela 14. Valores de magnitude relativa da ciclagem bioquímica (MRCB) de N, K, P, Mg e S em clones de teca, na região de São José dos Quatro Marcos - MT

CLONE	N	K	P	Mg	S
MRCB (%) nas folhas					
A12	71,7	42,8	57,1	51,6	59,3
A3	54,6	41,1	50,0	31,4	55,5
D19	52,6	51,4	48,4	29,5	49,5
E4	62,0	59,5	55,8	14,7	61,2
<i>p</i>	0,160	0,426	0,660	0,272	0,419
<b>Média</b>	<b>60,2</b>	<b>48,7</b>	<b>52,8</b>	<b>31,8</b>	<b>56,4</b>
<b>IC 95%</b>	<b>6,6</b>	<b>8,2</b>	<b>5,2</b>	<b>12,8</b>	<b>5,0</b>
MRCB (%) no lenho					
A12	64,2	71,1	61,7	30,4	60,0
A3	58,9	75,8	83,9	5,1	51,1
D19	42,7	87,3	67,1	-15,4	48,0
E4	70,5	85,7	74,7	30,6	62,6
<i>p</i>	0,270	0,131	0,120	0,054	0,303
<b>Média</b>	<b>59,1</b>	<b>80,0</b>	<b>71,8</b>	<b>12,6</b>	<b>55,4</b>
<b>IC 95%</b>	<b>10,0</b>	<b>5,7</b>	<b>7,0</b>	<b>14,7</b>	<b>6,1</b>
MRCB (%) anual em (folhas e lenho)					
A12	67,0	58,1	58,8	38,5	59,3
A3	56,5	59,8	68,0	17,0	52,7
D19	47,2	72,9	59,7	3,2	48,9
E4	66,2	71,8	64,9	23,0	62,0
<i>p</i>	0,182	0,166	0,397	0,136	0,149
<b>Média</b>	<b>59,2</b>	<b>65,6</b>	<b>62,8</b>	<b>20,4</b>	<b>55,7</b>
<b>IC 95%</b>	<b>7,2</b>	<b>5,9</b>	<b>4,1</b>	<b>10,8</b>	<b>4,5</b>

Fonte: Autora (2021).

Deve-se atentar, contudo, que os valores de MRCB em nível de folha são estimativas do que ocorre no intervalo de um (1) ano, ao passo que em nível de lenho podem refletir intervalo muito maior de tempo, abrangendo desde o início da operação da via bioquímica de ciclagem até o momento da amostragem realizada. Dessa forma, não é adequado comparar diretamente os valores de MRCB em nível de folha com os de MRCB em nível de lenho.

Em relação aos valores de MRCB anual, para folhas + lenho, além de não ter havido efeito significativo de clone (Tabela 14), os de N, P, K e S não diferem entre si, com base nos respectivos IC 95%, situando-se, em 60,8%, valor este calculado com base na média das MRCB desses nutrientes. Já a MRCB de Mg foi bem menor, 20,4%.

Com base nos procedimentos já descritos no item 2.1.4, foram obtidos os valores de CB mostrados na tabela 15 expressos em termos das quantidades de N, P, K, Mg e S, ciclados

anualmente, pela via bioquímica, em nível de folha, de lenho e para folha + lenho também a contribuição relativa (%) para a acumulação média anual desses nutrientes.

Tabela 15. Quantidades de N, K, P, Mg e S cicladas anualmente pela via bioquímica em plantio clonal de teca.

CLONE	N	K	P	Mg	S
CB anual nas folhas (g árvore ano <sup>-1</sup> )					
A12	151,35	34,10	6,34	16,38	7,47
A3	133,38	29,07	6,17	14,62	7,79
D19	129,33	49,52	6,72	8,65	6,70
E4	172,35	45,33	8,53	7,22	9,83
<i>p</i>	0,907	0,730	0,882	0,629	0,843
<b>Média</b>	<b>146,60</b>	<b>39,50</b>	<b>6,94</b>	<b>11,72</b>	<b>7,95</b>
<b>IC 95%</b>	<b>40,0</b>	<b>12,9</b>	<b>2,0</b>	<b>5,3</b>	<b>2,2</b>
CB anual no lenho (g árvore ano <sup>-1</sup> )					
A12	11,44	25,67	1,43	2,80	0,96
A3	9,19	25,01	1,28	0,41	0,76
D19	10,41	29,56	1,98	-2,36	1,06
E4	10,00	21,19	1,41	3,06	0,74
<i>p</i>	0,973	0,839	0,606	0,086	0,710
<b>Média</b>	<b>10,26</b>	<b>25,36</b>	<b>1,53</b>	<b>0,98</b>	<b>0,88</b>
<b>IC 95%</b>	<b>3,0</b>	<b>5,7</b>	<b>0,4</b>	<b>1,8</b>	<b>0,2</b>
CB anual em folhas e lenho (g árvore ano <sup>-1</sup> )					
A12	162,78	59,77	7,77	19,18	8,43
A3	142,57	54,09	7,45	15,03	8,55
D19	139,74	79,08	8,70	6,29	7,76
E4	182,36	66,52	9,95	10,28	10,57
<i>p</i>	0,917	0,821	0,900	0,553	0,894
<b>Média</b>	<b>156,86</b>	<b>64,86</b>	<b>8,47</b>	<b>12,69</b>	<b>8,83</b>
<b>IC 95%</b>	<b>42,0</b>	<b>17,2</b>	<b>2,2</b>	<b>6,1</b>	<b>2,4</b>
CB anual em folhas e lenho (% da acumulação média anual)					
A12	63,2	36,8	49,6	37,2	50,1
A3	50,9	39,8	48,1	22,6	50,1
D19	48,1	47,7	45,4	15,1	42,0
E4	59,1	52,5	52,2	15,5	56,6
<i>p</i>	0,277	0,196	0,759	0,317	0,237
<b>Média</b>	<b>55,3</b>	<b>44,2</b>	<b>48,8</b>	<b>22,6</b>	<b>49,7</b>
<b>IC 95%</b>	<b>5,9</b>	<b>5,6</b>	<b>4,1</b>	<b>9,0</b>	<b>4,9</b>

Fonte: Autora (2021).

Em nível de folhas, de lenho e de folhas + lenho, não houve efeito de clone sobre os valores de CB anual dos nutrientes (Tabela 15).

Nas folhas, com base na média dos clones, a sequência decrescente de CB anual foi  $N > K > Mg > S \sim P$  (de Mg para P em nível de tendência) (Tabela 15). Essas quantidades convertidas para a população de árvores (625 arv/ha) correspondem, em kg/ha/ano, a N (91,6), K (24,7), Mg (7,32), S (4,97) e P (4,34).

No lenho, com base na média dos clones, a sequência decrescente de CB anual foi  $K > N > P \sim Mg \sim S$  (Tabela 15). Essas quantidades convertidas para a população de árvores (625 arv/ha) correspondem, em kg/ha/ano, a K (15,9), N (6,41), P (0,96), Mg (0,613) e S (0,550). O maior valor de CB para K, se deve a sua importância durante a expansão das células cambiais (FROMM, 2010).

Em nível de folhas + lenho, a sequência decrescente de CB anual foi a mesma obtida para as folhas (Tabela 15), e as quantidades cicladas convertidas para 625 arv/ha correspondem, em kg/ha/ano, a N (98,0), K (40,5), Mg (7,93), S (5,52) e P (5,30). Para N, P e K esses valores são maiores do que os obtidos por Cavalcante (2017) em povoamento clonal de teca na região de Nova Maringá – MT: N (36,6), P (3,5), K (26,5), mas não para o Mg (23,0).

Não houve efeito de clone sobre a contribuição (%) das quantidades cicladas anualmente pela via bioquímica desses nutrientes em nível de fuste + lenho em relação à acumulação média anual (Tabela 15). Com base na média dos clones, essas contribuições relativas foram semelhantes entre N, S, P e K, na média de 49,5%, valor mais do que o dobro observado para Mg (22,6%), contribuições de grande importância para a economia nutricional das árvores, com reflexos na sustentabilidade nutricional do solo do sítio. Deve se considerar, contudo que a ciclagem de nutrientes via floema, embora seja estratégia importante para a economia nutricional das árvores, envolve dispêndio de energia. Além disso, quanto maior o ciclo bioquímico de um determinado elemento, menor sua importância para o ciclo biogeoquímico, e que a dinâmica dos nutrientes no solo pode envolver processos como fixação, imobilização, volatilização e lixiviação (ALMEIDA et al., 2014).

### 3.1.6 Avaliação da utilização do teor do nutriente em amostra do lenho coletada à altura do dap para representar o teor do nutriente no lenho do fuste.

Não houve efeito significativo da posição de amostragem sobre os teores de macronutrientes no lenho para os clones de teca avaliados (Tabela 16), cujas médias, portanto,

não diferem entre as duas posições de amostragem, o que indica, a princípio, que é possível utilizar a amostragem do lenho do fuste apenas na posição do dap, a 1,3m de altura.

Tabela 16 – Médias de teores de macronutrientes no lenho de árvores de clones de teca, aos 4 anos de idade, conforme a posição de amostragem

Clone	Posição	N	Ca	K	P	Mg	S
A3	dap	1,118 a	0,760 a	2,884 a	0,124 a	0,583 a	0,111 a
A3	fuste	1,154 a	0,781 a	2,544 a	0,116 a	0,565 a	0,112 a
A12	dap	1,189 a	1,020 a	2,938 a	0,201 a	0,851 a	0,126 a
A12	fuste	1,376 a	1,108 a	2,833 a	0,182 a	0,790 a	0,130 a
E4	dap	1,260 a	0,865 a	2,093 a	0,120 b	0,915 a	0,105 a
E4	fuste	1,348 a	0,938 a	2,374 a	0,179 a	0,937 a	0,111 a
D19	dap	1,460 a	0,720 a	1,962 a	0,157 a	0,862 a	0,139 a
D19	fuste	1,411 a	0,661 a	2,116 a	0,181 a	0,829 a	0,137 a

Para cada nutriente e clone, médias seguidas pela mesma letra não diferem a 5 % de probabilidade, pelo teste F. Fonte: Autora (2021).

As correlações entre os teores de nutrientes obtidos nas duas posições de amostragem, obtidas em nível de observação, ou seja, das 12 árvores avaliadas considerando o conjunto dos quatro clones, foram todas significativas (Tabela 17). indicando associação entre os teores obtidos nas diferentes modalidades de amostragem, considerando não apenas a média, mas toda a faixa de valores de teores obtidos. Os valores das declividades das equações lineares obtidas entre os teores de nutrientes, ajustando-se o intercepto a zero, não diferem de 1 (um), a 5% de probabilidade, como mostrado na Figura 5, indicando que os teores obtidos pela amostragem do lenho à altura do dap representam o teor do nutriente do fuste como um todo, constatação de grande importância prática.

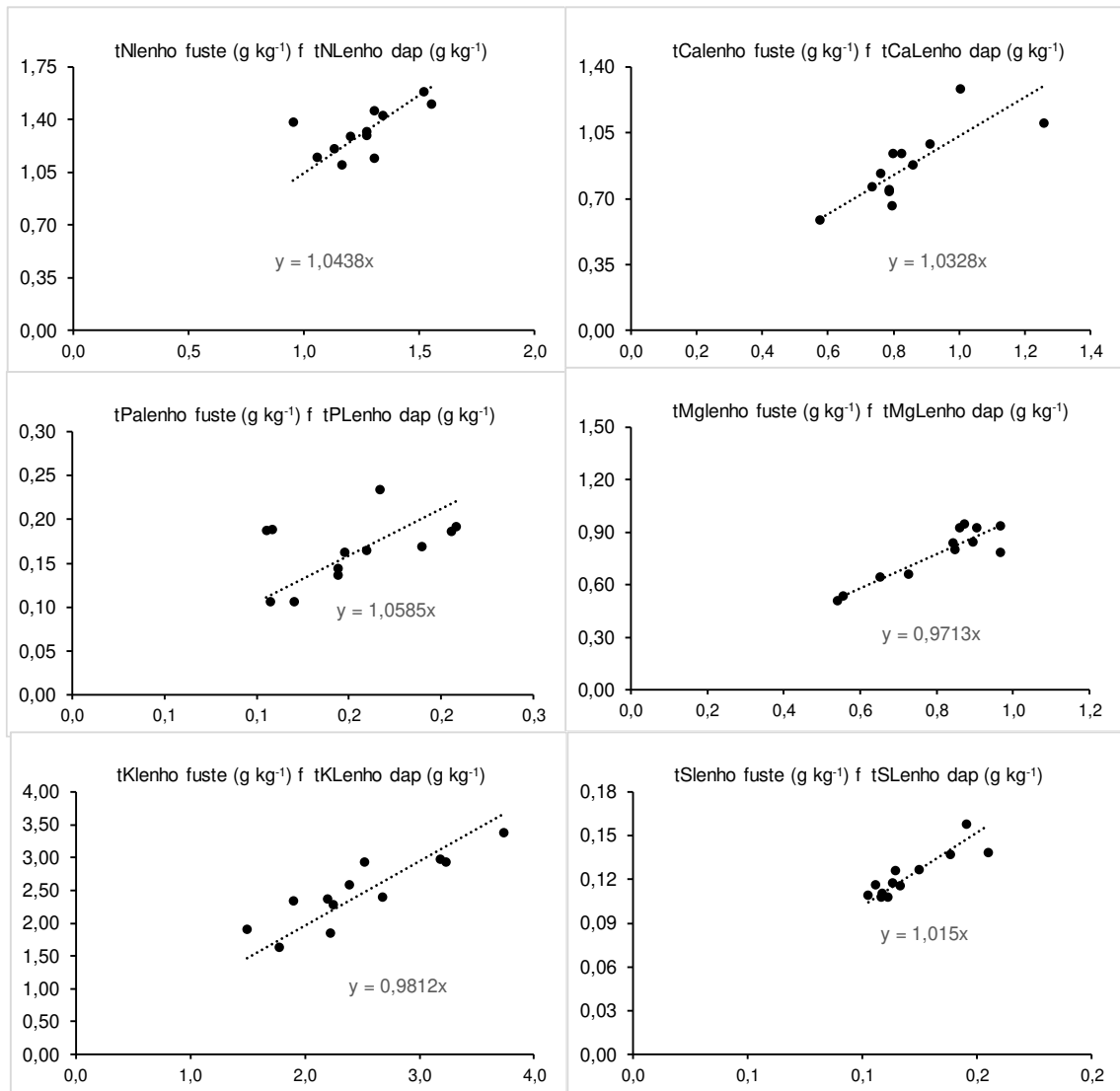
Tabela 17 – Coeficientes de correlação de Pearson entre os teores de macronutrientes no lenho de árvores de clones de teca, aos 4 anos de idade, obtidos conforme a posição de amostragem

Variáveis envolvidas	N	Ca	K	P	Mg	S
Teor no Lenho no dap, Teor no lenho do fuste	0,622*	0,788**	0,877**	0,437 <sup>+</sup>	0,906**	0,887**

\*\* , \* , <sup>+</sup> Significativo a 1%, 5%, 10% e 15% de probabilidade, respectivamente.

Fonte: Autora (2021).

Figura 5 - Dispersão gráfica e equações lineares para os teores de macronutrientes no lenho do fuste em função dos teores no lenho obtidos pela amostragem à altura do dap



Fonte: Autora (2021).

### 3.2 Estudo 2 Modelagem da produção volumétrica de árvores individuais e de biomassa, e do acúmulo de macronutrientes, por meio de equações alométricas

As equações alométricas obtidas para a matéria seca da parte aérea (MSPA) e de seus componentes: copa (MSCOPA), tronco (MSTR) e lenho (MSL), com base em uma variável facilmente obtida no campo, o dap, se ajustaram bem aos dados medidos, sendo as equações obtidas significativas a 1 % de probabilidade e com elevada capacidade preditiva, sendo os valores de  $R^2$  superiores a 0,97 (Tabela 18).

Na Tailândia, também foram obtidas equações alométricas relacionando a biomassa aérea de árvores de teca em função do dap, significativas ( $p < 0,01$ ) e com elevada capacidade preditiva,  $R^2 0,97$ , por Ounban et al. (2016), autores que consideram o dap a variável preditora mais comum e mais fácil de ser medida no campo, além de ser estreitamente correlacionada com a biomassa do fuste e com a biomassa aérea, como também encontrado para teca em diferentes sítios florestais por Kenzo et al., (2020) No Brasil, em povoamentos seminais de teca (BEHLING, 2009) e clonais (SANTOS, 2015) também foram obtidas equações alométricas para estimar a biomassa da parte aérea e de seus componentes, com elevada capacidade preditiva.

Foram também obtidas, neste trabalho, equações alométricas para estimar o conteúdo de macronutrientes na parte aérea, e em seus componentes (na copa, no tronco e no lenho), todas significativas ( $p < 0,01$ ) e com elevada capacidade preditiva (Tabela 18).

Equações alométricas para estimar o conteúdo de nutrientes na parte aérea e em seus componentes para povoamentos clonais de teca, com elevada capacidade preditiva, no estado de Mato Grosso, foram também obtidas por Santos (2015). Nesse trabalho, foi também verificado que as equações alométricas obtidas considerando diferentes classes de produtividade não diferiram estatisticamente entre si, o que levou à proposição de equações alométricas gerais.

A obtenção de equações alométricas, é uma forma de subsidiar as decisões sobre as práticas silviculturais a serem implementadas, principalmente para povoamentos clonais de teca, para os quais são escassos os estudos relacionados às exigências nutricionais e a partição dos nutrientes em componentes das árvores. Além disso, a obtenção de estimativas confiáveis de biomassa e de conteúdos de nutrientes por árvore é de grande utilidade para povoamentos manejados com desbastes, como no caso da teca, pois as estimativas assim obtidas das quantidades de nutrientes contidas nas árvores desbastadas permitem definir as adubações de reposição, como exemplificado no trabalho de Stahringer (2017) para povoamentos de Pinus e de Eucalyptus, manejados com desbastes, cultivados na província de Corrientes, Argentina.

Tabela 18: Equações para variáveis de produção de matéria seca e conteúdos de macronutrientes em componentes da parte aérea de árvores de povoamentos clonais de teca em função do diâmetro a 1,3 m de altura (dap, em cm), no Mato Grosso

Variável	Equação	R <sup>2</sup>
MSPA (kg arv <sup>-1</sup> )	0,0520 dap <sup>2,5600</sup>	0,9736
MSCOPA (kg arv <sup>-1</sup> )	0,0313 dap <sup>2,2942</sup>	0,9971
MSTR (kg arv <sup>-1</sup> )	0,0274 dap <sup>2,6679</sup>	0,9817
MSL (kg arv <sup>-1</sup> )	0,0204 dap <sup>2,7351</sup>	0,9769
CNPA (g arv <sup>-1</sup> )	0,8618 dap <sup>2,0347</sup>	0,9094
CNCOPA (g arv <sup>-1</sup> )	0,7155 dap <sup>1,9989</sup>	0,9675
CNTR (g arv <sup>-1</sup> )	0,1695 dap <sup>2,1928</sup>	0,9746
CNL (g arv <sup>-1</sup> )	0,1211 dap <sup>2,1726</sup>	0,9434
CPPA (g arv <sup>-1</sup> )	0,0944 dap <sup>1,9216</sup>	0,9088
CPCOPA (g arv <sup>-1</sup> )	0,0747 dap <sup>1,8018</sup>	0,9572
CPTR (g arv <sup>-1</sup> )	0,0263 dap <sup>2,0796</sup>	0,9276
CPL (g arv <sup>-1</sup> )	0,0234 dap <sup>1,9819</sup>	0,8167
CKPA (g arv <sup>-1</sup> )	0,7202 dap <sup>2,1195</sup>	0,9650
CKCOPA (g arv <sup>-1</sup> )	0,3812 dap <sup>2,0359</sup>	0,9796
CKTR (g arv <sup>-1</sup> )	0,3530 dap <sup>2,1802</sup>	0,9607
CKL (g arv <sup>-1</sup> )	0,2704 dap <sup>2,1727</sup>	0,9616
CCaPA (g arv <sup>-1</sup> )	0,4818 dap <sup>2,2882</sup>	0,9210
CCaCOPA (g arv <sup>-1</sup> )	0,3044 dap <sup>2,2873</sup>	0,9338
CCaTR (g arv <sup>-1</sup> )	0,1774 dap <sup>2,2898</sup>	0,9618
CCaL (g arv <sup>-1</sup> )	0,0814 dap <sup>2,2280</sup>	0,9694
CMgPA (g arv <sup>-1</sup> )	0,1446 dap <sup>2,3216</sup>	0,9751
CMgCOPA (g arv <sup>-1</sup> )	0,0800 dap <sup>2,2868</sup>	0,9505
CMgTR (g arv <sup>-1</sup> )	0,0653 dap <sup>2,3568</sup>	0,9692
CMgL (g arv <sup>-1</sup> )	0,0424 dap <sup>2,3530</sup>	0,9534
CSPA (g arv <sup>-1</sup> )	0,0973 dap <sup>2,0629</sup>	0,9500
CSCOPA (g arv <sup>-1</sup> )	0,0699 dap <sup>1,9571</sup>	0,9487
CSTR (g arv <sup>-1</sup> )	0,0319 dap <sup>2,1876</sup>	0,9959
CSL (g arv <sup>-1</sup> )	0,0268 dap <sup>2,1876</sup>	0,9931

\*Todas as equações são significativas a 1% de probabilidade, com base no Quadrado Médio do Independente da Regressão

Fonte: Autora (2021).

As equações alométricas para estimar biomassa e conteúdos de nutrientes da tabela 18 resultam da utilização dos dados de Santos (2015), enriquecidos com os dados obtidos neste

trabalho para os clones A12, A3, E4, D19 - estes cultivados numa mesma condição de sítio, na região de São José dos Quatro Marcos, MT, e com os dados obtidos nessa mesma região, mas em outro sítio, do clone C5. Dessa forma, pode-se propor que as equações alométricas da tabela 18 são mais robustas, inclusive pela maior diversidade das condições de sítio florestal nelas abrangidas.

### **3.3. Estudo 3 Avaliação comparativa da estrutura de povoamentos florestais, intra e entre tratamentos de manejo, pelo método de distribuição em decis (MDD).**

A aplicação do método de análise frequencial desenvolvido neste trabalho (ver ítem 2.3), método de distribuição em decis (MDD), foi feita para avaliar a estrutura de povoamentos comparativamente aos tratamentos de manejo, com base nos valores de volume médio individual de tronco (VMI), dos clones A12, A3 e D19 (o clone foi considerado o tratamento de manejo), cultivados em duas áreas, na região de São José dos Quatro Marcos – MT, ao longo dos anos de 2017, 2018 e 2020.

Os valores de frequência (%) por classe de decil do volume médio individual de tronco (VMI) em relação ao conjunto de valores de VMI dos clones, em cada Área e ano de Avaliação são mostrados na tabela 19. As frequências assim obtidas das classes 1, 2 e 3 de decil foram agrupadas (dando origem aos VMI 30% inferiores), como também feito para as frequências das classes 4,5,6 e 7 (dando origem aos VMI 40% intermediários), e para as frequências das classes 8,9 e 10 (dando origem aos 30% VMI superiores), como mostrado na tabela 20.

Embora os resultados mostrados na tabela 19 permitam análise mais detalhada, visando maior síntese serão utilizados, a seguir, os dados da tabela 20.

Vê-se, na tabela 20, que na área 1, em 2017, na idade de 3,5 anos, no povoamento do clone D19 63% das árvores estão alocadas dentre as 30 % com menores VMI em relação as árvores de todos os três clones avaliadas nessa área e idade. Já os clones A3 e A12 possuem maior frequência na classe intermédia de VMI, com 33 e 46 % respectivamente.

Tabela 19 – Frequência (%) por classe de decil do volume médio individual de tronco (VMI) em relação ao conjunto de valores de VMI dos clones, em cada área e ano de avaliação

Ano	Área	Clone	Classe decil									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Frequência (%) do VMI												
2017	1	A12	6,7	6,7	6,7	3,3	3,3	10,0	16,7	6,7	26,7	13,3
2017	1	A3	1,9	6,7	13,3	11,4	13,3	11,4	10,5	10,5	7,6	13,3
2017	1	D19	36,1	22,2	5,6	8,3	5,6	5,6	2,8	11,1	2,8	0,0
2017	2	A12	15,2	20,2	14,1	12,1	10,1	11,1	8,1	5,1	3,0	1,0
2017	2	A3	7,8	4,9	7,8	12,7	15,7	8,8	13,7	15,7	10,8	2,0
2017	2	D19	3,8	3,8	8,8	5,0	2,5	8,8	8,8	8,8	17,5	32,5
2018	1	A12	11,1	7,4	3,7	0,0	11,1	3,7	18,5	7,4	22,2	14,8
2018	1	A3	0,0	11,1	14,8	14,8	12,3	12,3	7,4	11,1	6,2	9,9
2018	1	D19	40,7	7,4	3,7	3,7	0,0	11,1	7,4	11,1	3,7	11,1
2018	2	A12	15,2	20,2	14,1	14,1	10,1	11,1	8,1	5,1	3,0	1,0
2018	2	A3	7,8	4,9	7,8	7,8	15,7	8,8	13,7	15,7	10,8	2,0
2018	2	D19	3,8	3,8	8,8	8,8	2,5	8,8	8,8	8,8	17,5	32,5
2020	1	A12	18,5	11,1	7,4	7,4	3,7	3,7	14,8	7,4	1,0	14,8
2020	1	A3	3,7	6,2	13,6	13,6	13,6	13,6	8,6	12,3	2,0	3,7
2020	1	D19	25,9	14,8	3,7	3,7	7,4	7,4	7,4	7,4	32,5	25,9
2020	2	A12	31,7	19,5	12,2	9,8	7,3	14,6	4,9	0,0	0,0	0,0
2020	2	A3	1,9	13,0	14,8	16,7	16,7	9,3	14,8	9,3	3,7	0,0
2020	2	D19	0,0	0,0	2,1	2,1	4,3	6,4	8,5	19,1	25,5	31,9

Fonte: Autora (2021).

Na área 1, em 2018 e 2020, nas idades de 4,5 e 6,5 anos, respectivamente, verifica-se, no clone D19, redução da frequência na classe de 30% menores VMI, e aumento na classe intermediárias e na classe de maiores VMI. Já, a frequência relativa apresentada nessas idades para o clone A12 aumentou nas classes com maiores VMI aos 4,5 anos (44%), mas isso não se manteve aos 6,5 anos, idade em que a frequência decresce para 26 % (Tabela 20).

A área 1, a estrutura do povoamento do clone A3 parece mais estável ao longo dos anos de avaliação do que a dos demais, pois não há grandes variações entre as classes com a idade do povoamento, pelo menos até os 6,5 anos (Tabela 20). Isso demonstra o comportamento mais previsível desse clone em relação ao crescimento das árvores, quanto à estrutura do povoamento.

Tabela 20: Frequência de árvores, quanto ao volume médio individual de tronco (VMI), em relação ao conjunto de árvores de cada idade, na área 1 e na 2.

Ano	Clone	Classe de Decil Agrupada		
		1,2,3 (30% menores VMI)	4,5,6,7 (40% intermediários VMI)	8,9,10 (30% maiores VMI)
Frequência Relativa (%)				
Área 1				
2017	A12	20,00	33,30	46,70
	A3	21,90	46,70	31,40
	D19	63,90	22,20	13,90
2018	A12	22,20	33,30	44,40
	A3	25,90	46,90	27,20
	D19	51,90	22,20	25,90
2020	A12	37,00	37,00	25,90
	A3	23,50	46,90	29,60
	D19	44,40	18,50	37,00
Área 2				
2017	A12	43,90	39,80	16,30
	A3	10,80	49,00	40,20
	D19	36,30	30,00	33,80
2018	A12	49,50	41,40	9,10
	A3	20,60	51,00	28,40
	D19	16,30	25,00	58,80
2020	A12	63,40	36,60	0,00
	A3	29,60	57,40	13,00
	D19	2,10	21,30	76,60

Fonte: Autora (2021).

Na área 2, verifica-se comportamento distinto do observado na área 1, quanto à estrutura dos clones avaliados, pois as frequências relativas de VMI estão mais distribuídas entre as classes de decil agrupadas (Tabela 20).

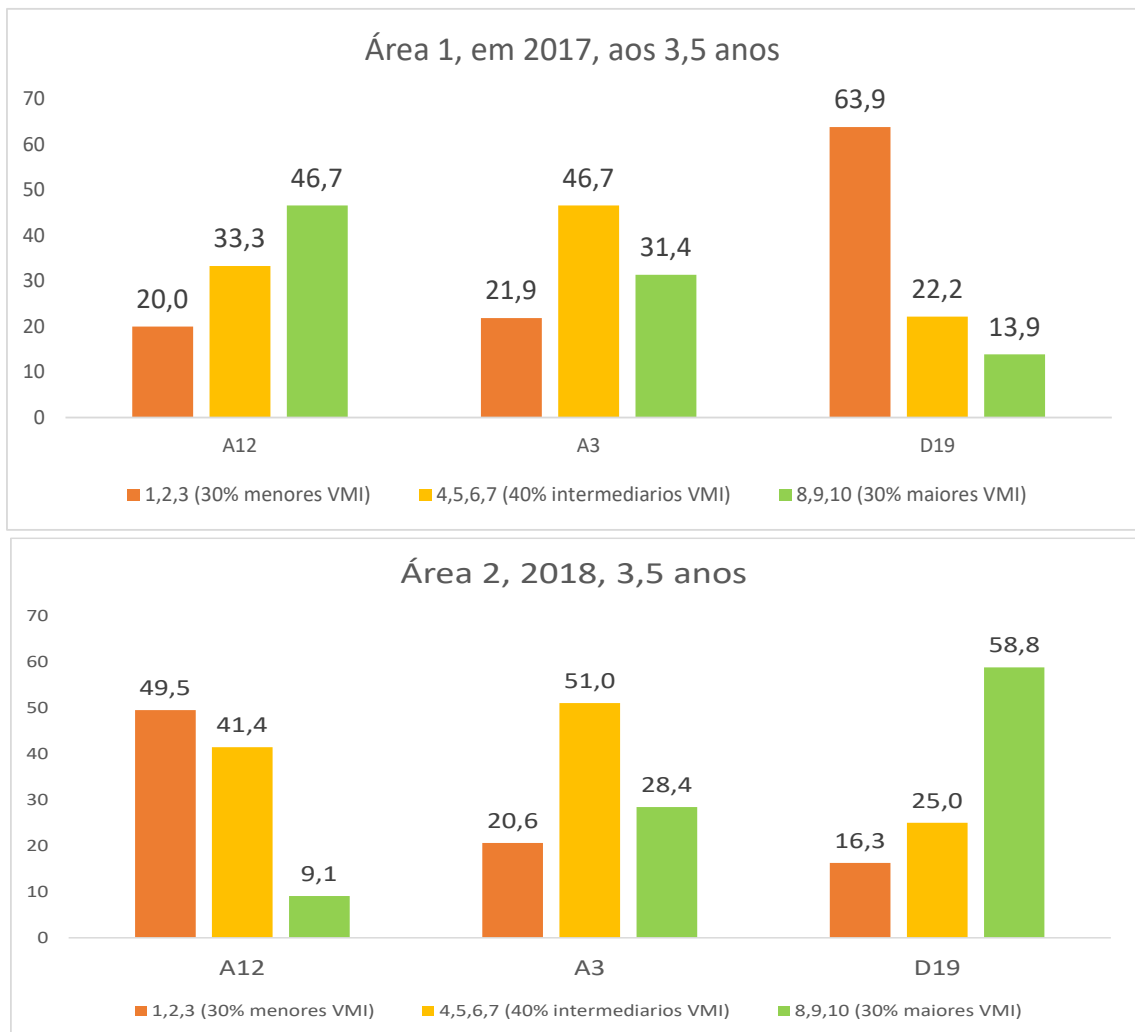
Na área 2, em 2017, na idade de 2,5 anos, destaca-se o povoamento do clone A3 para o qual as maiores frequências são observadas nas classes de decil intermediária e na classe com os 30% maiores VMI, mas isso não se mantém ao longo dos anos, pois suas árvores em 2018 e 2020 apresentam-se com maior frequência relativa na classe intermediária.

O povoamento do clone A12, na área 2, apresentou a maior frequência relativa de VMI, em 2017, em 2018 e em 2020 na classe com os 30% menores VMI de todos os três clones avaliados nessa área, em percentuais crescentes com a idade do povoamento, variando de 43,90 %, aos 2,5 anos a 63,40 %, aos 5,5 anos, comportamento oposto ao apresentado pelo povoamento do clone D19 nessa área, para o qual a frequência relativa de suas árvores na classe

com 30% menores VMI decresceu de 36,3% em 2017, para apenas 2,10%, em 2020, aumentando nesse período na classe com 30% maiores VMI.

A comparação das áreas quanto à estrutura dos povoamentos, para uma mesma idade dos povoamentos, 3,5 anos, pode ser feita com base na Figura 6 (como também com base nos valores da Tabela 20, para o ano de 2017 na área 1 e 2018 na área 2).

Figura 6. Frequência de Árvores, quanto ao Volume Médio Individual de Tronco (VMI), em Relação ao Conjunto de Árvores da Idade de 3,5 anos em Cada Área



Fonte: Autora (2021).

Assim, na área 1, o povoamento do clone D19 tem predomínio na classe com 30% menores VMI, já na área 2 apresenta predomínio na classe com os 30% maiores VMI. No povoamento do clone A12, predominam árvores na classe com 30% maiores VMI, já na área 2 predominam árvores na classe com 30% menores VMI. Fica claro, assim, a existência de interação genótipo x ambiente

Em relação ao povoamento do clone A3, houve maior frequência de árvores na classe intermediária, evidenciando maior plasticidade fenotípica desse clone, que se reflete em sua maior estabilidade em relação ao ambiente de cultivo, como também verificado em relação à idade, já comentado anteriormente nesse texto, ao longo do período avaliado.

O método de distribuição em decis (MDD), desenvolvido neste trabalho, possibilita a avaliação da estrutura do povoamento florestal, intra e entre tratamento de manejo.

#### **3.4. Estudo 4 Produção volumétrica e a acumulação de biomassa e de macronutrientes em povoamentos clonais de teca obtidos por modelagem matemática**

Em cada área, povoamentos dos clones A12, A3 e D19 foram mensurados no período 2017 a 2020, sendo utilizados os valores de incremento em diâmetro à 1,3 m de altura (dap) das mesmas árvores para estratificá-las em três populações: inferior, média e superior, como mostrado na Tabela 21. Às árvores de cada uma dessas populações foram aplicados os procedimentos descritos no item 2.4 para a obtenção das equações logísticas para a produção volumétrica de tronco e de biomassa, e conteúdo de macronutrientes, de componentes da parte aérea em função do tempo.

Tabela 21 – Valores de idade e de diâmetro a 1,3 m de altura (dap) ao início (em 2017, dap\_2017) e de incremento em classes de dap ao final do período avaliado (2020) para as Populações de Árvores de Povoamentos Clonais cultivados em duas áreas, na região de São José dos Quatro Marcos – MT, com base no Incremento em Classes de dap.

Área	Clon e	População	Idade em 2017 (ano)	dap_2017 (cm)	Incremento em classes dap (de 2cm)
1	A12	Inferior	3,55	15,27	2,46
1	A12	Média	3,55	16,51	3,42
1	A12	Superior	3,55	17,47	4,62
1	A3	Inferior	3,55	16,91	3,05
1	A3	Média	3,55	16,77	3,68
1	A3	Superior	3,55	16,67	4,21
1	D19	Inferior	3,55	14,16	2,91
1	D19	Média	3,55	15,02	4,43
1	D19	Superior	3,55	16,19	5,46
2	A12	Inferior	2,76	12,02	1,94
2	A12	Média	2,76	11,93	3,48
2	A12	Superior	2,76	11,17	4,88
2	A3	Inferior	2,76	12,17	1,76
2	A3	Média	2,76	12,61	3,18
2	A3	Superior	2,76	12,42	3,52
2	D19	Inferior	2,76	12,23	2,97
2	D19	Média	2,76	12,09	4,25
2	D19	Superior	2,76	12,31	5,28

Fonte: Autora (2021).

#### 3.4.1. Modelagem da Produção Volumétrica de Tronco

As equações logísticas ajustadas para estimar o volume de tronco em função da idade das árvores são significativas e com elevados valores de R, indicativos da boa qualidade de ajuste (Tabela 22).

O parâmetro “a” apresentou valores mais elevados nas populações com maior incremento em dap, para todos os clones tanto na área 1 como na 2 (Tabela 22). Isso acontece porque “a” é a assíntota da curva, referindo-se à produção quando a idade tende ao infinito, ou seja, quando o incremento corrente tende a zero (0). Os valores de “a” são maiores na área 1 em comparação à área 2, mas com variabilidade média maior na área 1 (CV 29,6%) do que na área 2 (CV 22,7%).

O parâmetro “b” é um parâmetro de escala (constante de integração) que não tem interpretação biológica (SANTORO et al., 2005; BARROS, 2021), cujos valores foram menores na área 1 (em média 54,128) em relação à área 2 (em média 82,756), mas com variabilidade média semelhante entre as áreas (CV 34,9% na área 1 e 34,8% na área 2).

Os valores de “c”, parâmetro relacionado à taxa média de crescimento da curva, pouco diferiram entre clones e classes diamétricas (CV 7,42% na área 1 e 7,95% na área 2), sendo em média de 0,834 na área 1 e 1,079 na área 2, uma diferença relativa de 29,4%.

Tabela 22: Estimativas dos parâmetros do modelo Logístico Ajustado para o volume de tronco ( $m^3/arv$ ) de árvores de populações de povoamentos de clones de teca em função do tempo (ano), em duas áreas de cultivo, na região de São José dos Quatro Marcos, Mato grosso.

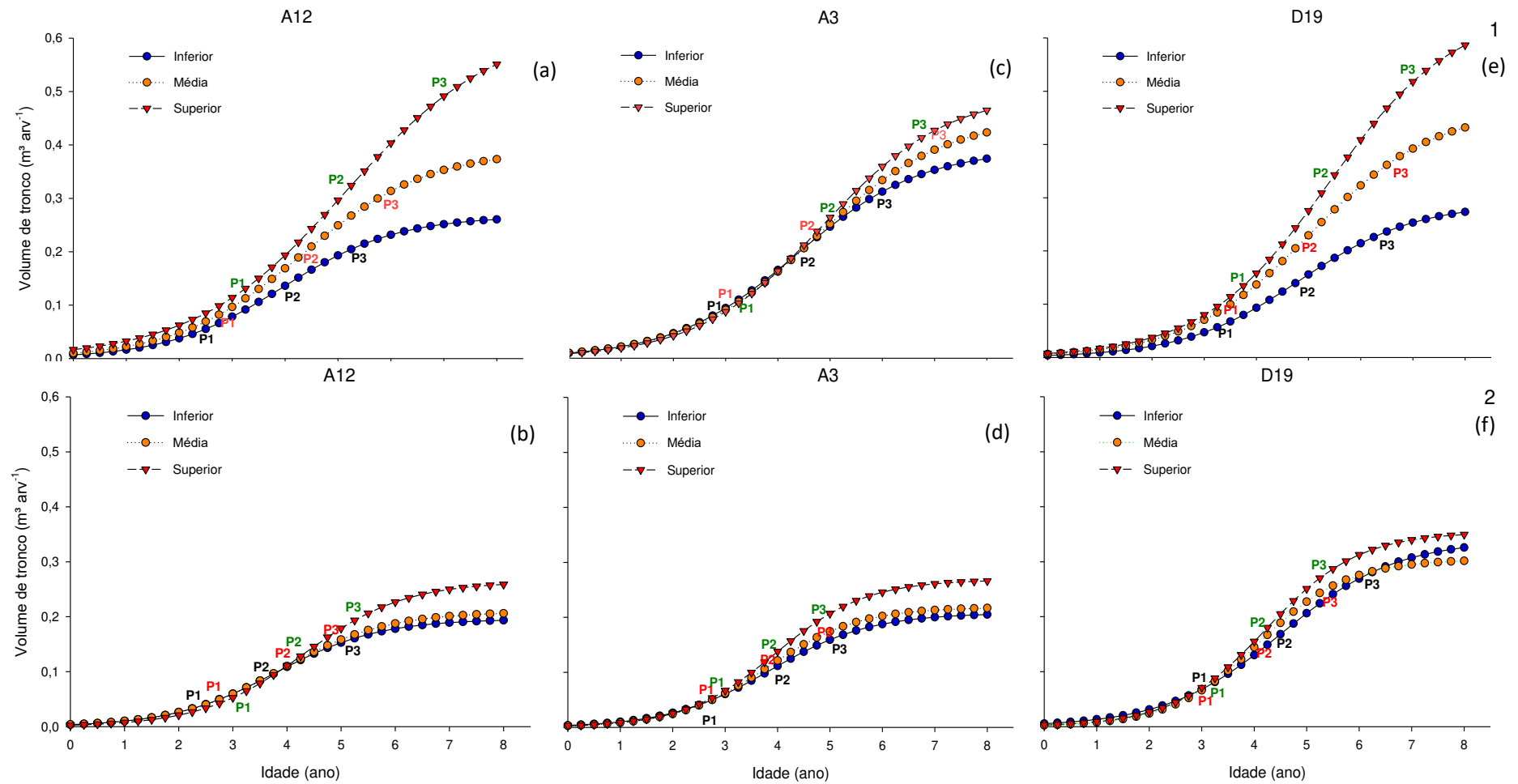
Clone	Classe Diamétrica	a	b	c	R
Área 1					
A12	Inferior	0,267	38,156	0,921	0,821
A12	Média	0,390	37,999	0,841	0,956
A12	Superior	0,627	36,629	0,699	0,972
A3	Inferior	0,393	39,511	0,841	0,964
A3	Média	0,455	45,127	0,806	0,970
A3	Superior	0,501	57,694	0,834	0,973
D19	Inferior	0,289	75,428	0,895	0,960
D19	Média	0,468	70,838	0,844	0,919
D19	Superior	0,654	85,769	0,827	0,961
Área 2					
A12	Inferior	0,196	51,769	1,043	0,973
A12	Média	0,209	55,556	1,031	0,966
A12	Superior	0,264	98,294	1,066	0,982
A3	Inferior	0,208	55,070	1,039	0,971
A3	Média	0,219	79,512	1,150	0,987
A3	Superior	0,269	97,611	1,158	0,992
D19	Inferior	0,340	61,213	0,910	0,966
D19	Média	0,305	124,576	1,180	0,971
D19	Superior	0,354	121,201	1,136	0,967

a ( $m^3 arv^{-1}$ ), b, c: parâmetros do modelo logístico  $y = \frac{a}{1+b \cdot e^{(-cx)}}$

Fonte: Autora (2021).

Os valores de volume de tronco estimados com base nas equações da Tabela 22, para cada clone, em cada área, possibilitaram a obtenção das curvas de produção volumétrica de tronco mostradas na Figura 6, e mediante derivação matemática das equações da Tabela 22 foram obtidos os valores dos pontos P1, P2 e P3 mostrados na Tabela 23.

Figura 7: Volume de tronco ( $\text{m}^3 \text{ arv}^{-1}$ ) de árvores em diferentes classes em função da idade (ano) para os diferentes clones, na área 1 (a, c, e) e na área 2 (b, d, f).



Fonte: Autora (2021).

Tabela 23: Valores dos P1, P2 e P3, e a redução relativa da produtividade volumétrica entre as classes média e superior de incremento diamétrico para os clones avaliados, em ambas as áreas da região de São José dos Quatro Marcos, Mato Grosso.

Área 1					
Clone	Pontos	Classe			Redução Produtividade volumétrica (%) Méd. vs Sup.
		Inferior	Média	Superior	
A12	P1	2,5	2,8	3,3	47,8
	P2	4,0	4,3	5,2	48,3
	P3	5,4	5,9	7,0	48,3
<b>Média</b>					<b>48,1</b>
A3	P1	2,8	3,1	3,3	8,3
	P2	4,4	4,7	4,9	6,4
	P3	5,9	6,4	6,4	6,2
<b>Média</b>					<b>7,0</b>
D19	P1	3,4	3,5	3,8	30,4
	P2	4,8	5,0	5,4	29,9
	P3	6,3	6,6	7,0	30,1
<b>Média</b>					<b>30,1</b>
Área 2					
A12	P1	2,5	2,6	3,1	21,7
	P2	3,8	3,9	4,3	18,9
	P3	5,1	5,2	5,5	18,8
<b>Média</b>					<b>19,8</b>
A3	P1	2,6	2,7	2,8	19,1
	P2	3,9	3,8	4,0	19,0
	P3	5,1	4,9	5,1	18,1
<b>Média</b>					<b>18,7</b>
D19	P1	3,1	3,0	3,1	17,0
	P2	4,5	4,1	4,2	16,9
	P3	6,0	5,2	5,4	17,3
<b>Média</b>					<b>17,1</b>

Fonte: Autora (2021).

As curvas de produção volumétrica de tronco do clone A12 evidenciam que os indivíduos da população da classe superior na área 1 (Figuras 7 a, c, e), possuem maior produção volumétrica com tendência de aumento ao longo de todo o período considerado para a elaboração dos gráficos (até a idade de 8 anos), enquanto na área 2, há menor volume ao longo do tempo e uma clara tendência à estabilização da curva (Figuras 7 b, d, f).

Para o clone A12, verifica-se que a idade de máxima aceleração do crescimento volumétrico (P1) ocorreu mais precocemente na população da classe inferior, ou seja aos 2,5 anos, já na classe média e superior as idades são próximas a 3 anos em ambas as áreas (Tabela

23). Já em relação ao P2, idade em que ocorre o incremento corrente anual máximo (ICA máximo), essa similaridade de idade entre as áreas não acontece: na área 2 ocorre antecipadamente para as três classes, entre os 3,8 aos 4,3 anos, diferentemente do que ocorre nas três classes na área 1, entre 4 aos 5,2 anos. Já o P3, idade em que a desaceleração do crescimento se inicia, na classe inferior e média ocorre após os 5 anos em ambas as áreas, já na classe superior na área 1 isso só ocorre aos 7 anos, uma diferença de 1,5 anos em relação a área 2 (Tabela 23).

Para o clone A12, ao se comparar a redução relativa de produtividade volumétrica da classe média em relação à classe superior, considerando essa como a população de referência de potencial produtivo de cada área, até as idades correspondentes a P1, P2 e P3, observa-se em termos da média, 48,8 % de redução de produtividade na área 1 e 19,8% na área 2 (Tabela 23).

Além disso, para o clone A12, o volume de tronco estimado pelo modelo logístico para a idade de 8 anos na área 2 ( $0,2587 \text{ m}^3 \text{ árv}^{-1}$ ) é 46,9% inferior ao estimado para a área 1 ( $0,5512 \text{ m}^3 \text{ árv}^{-1}$ ) (Figuras 6 a,b).

Em estudo realizado com clones de teca aos seis anos de idade usando modelos ajustados para o Mato Grosso, o volume de tronco médio foi  $0,159 \text{ m}^3 \text{ arv}^{-1}$  na mesma idade em um plantio seminal de teca o volume tronco obtido foi  $0,094 \text{ m}^3 \text{ arv}^{-1}$  (ROSSI et al. 2011).

Para o clone A3, é possível observar nas curvas das figuras 7 (c,d) para as populações das três classes diamétricas, um mesmo padrão de crescimento até o ponto P2, com pouca diferença entre as populações, isso ocorre em ambas as áreas, contudo na área 1 (Figura 7 c) o crescimento em volume de tronco é superior à área 2 (Figura 6 d).

Para o clone A3, a idade de máxima aceleração de crescimento (P1), ocorre aos 2,8 anos (classe inferior) 3,1 (média) e 3,3 (superior) na área 1 (Tabela 23). Já na área 2 para as diferentes classes isso ocorre em torno de 2,7 anos. Para esse clone, o P2 (ICA máximo) é atingido de 4,4 a 4,9 anos conforme as diferentes classes diamétricas na área 1, no entanto na área 2, P2 é atingido antecipadamente 3,9 a 4 anos de idade (Tabela 23). Também, nesse clone, a idade de desaceleração máxima do crescimento (P3) ocorre mais cedo na área 2, sendo que na classe diamétrica inferior ocorre aos 5,1 anos, na classe média aos 4,9 anos e aos 5,1 anos na classe superior; na área 1, o P3 ocorre entre 5,9 a 6,4 anos da classe inferior a superior, respectivamente (Tabela 23).

No clone A3, a redução de produtividade da classe média de incremento diamétrico em relação à superior entre os pontos P1, P2 e P3 foi em média de 7,0% na área 1 e de 18,7% na área 2 (Tabela 23).

No clone D19, as curvas de produção volumétrica de tronco têm padrão semelhante às do clone A12, a população da classe superior com tendência de aumento ao longo de todo o período (até 8 anos) (Figura 6 e). Já na área 2, para a população média em termos de incremento em classes diamétricas a produção volumétrica de tronco chega a ser menor que a população inferior após o ponto P3 (Figura 7 f).

Para o clone D19, na área 1, a máxima aceleração no crescimento (P1) ocorre aos 3,4 anos na classe inferior, 3,5 anos na classe média e 3,8 na classe superior; já na área 2, P1 ocorre próximos aos 3 anos nas três classes de incremento diamétrico (Tabela 23). Para esse clone, na área 1, as idades em que ocorrem a máxima taxa de crescimento (ICA), ou seja, o ponto P2, foram de: 4,8 anos, na classe inferior, 5,0 anos na classe média e 5,4 anos na classe superior quanto ao incremento em classes diamétricas na área 1. Na área 2, os valores de P2 para as populações da classe média e superior P2 (em torno de 4,1 e 4,2 anos) foram menores do que para a população da classe inferior (4,5 anos). As idades de máxima desaceleração do crescimento (P3), do clone D19, são menores, na área 2, em torno de 5 anos, para as populações de todas as classes de incremento diamétrica, de que na área 1, em que P3 ocorre acima de 6 anos, chegando a 7 anos na classe superior.

Para o clone D19, e no período de até P3, a redução média de produtividade da classe média em relação à superior, na área 1 é de 30,1 %, já na área 2 é de 17,1% (Tabela 23).

De modo geral, ao observar as curvas de produção de volume tronco dos povoamentos dos diferentes clones, de diferentes classes de incremento diamétrico, em ambos os sítios, constata-se que o clone A3 apresenta maior plasticidade em relação aos outros clones, apresentando menor variação entre as diferentes populações, padrão esse importante para subsidiar a escolha de materiais genéticos para distintas condições de sítio.

As idades estabelecidas do plantio a P1 e de P1 a P2, são as fases em que predominam os ciclos geoquímico e bioquímico, respectivamente, indicando que nessas fases de crescimento a planta responderia melhor adubação, se isso for necessário. Além disso, a idade de desaceleração do crescimento (P3), corresponderia a idade em que se inicia a tendência à estagnação do crescimento; assim, a identificação dessa idade pode ser útil para a definição da idade do primeiro desbaste. Segundo Nogueira et al., (2006), o momento em que se inicia esse processo de estagnação corresponde à idade técnica de desbaste. Cruz et al., (2008) utilizando modelos ajustados para o crescimento de plantios jovens de teca no Mato Grosso, relatam que para se antecipar à competição entre árvores, a idade do primeiro desbaste deveria ser antes dos 6 anos. Em plantações de teca, com rotações curtas (16-25 anos), um primeiro desbaste não comercial é recomendado nas idades de 3 a 6 anos (JEREZ-RICO; COUTINHO, 2017).

Nesse sentido, em síntese, e considerando as populações da classe superior em termos de incremento em classe diamétrica a idade média em que ocorreu P3 foi 6,5 anos na área 1 e 5,0 anos na área 2, evidenciando a melhor qualidade de sítio da área 1.

#### 3.4.2 Modelagem da Acumulação de Biomassa.

As equações logísticas ajustadas para estimar a acumulação de biomassa na parte aérea em função da idade das árvores são significativas e com elevados valores de R, indicativos da excelente qualidade de ajuste (Tabelas 24 e 25).

As curvas de acumulação de biomassa da parte aérea e de seus componentes das populações das classes de incremento diamétrico (Figuras 8 a 13), que refletem a acumulação de Carbono, evidenciam, na área 1, que a população da classe superior apresenta maior acumulação e com tendência de aumento ao longo do período considerado, de até 8 anos de idade, enquanto na área 2, a acumulação de biomassa é menor ao longo do tempo e com clara tendência à estabilização. E os valores de P1, P2 e P3 obtidos por derivação matemática das curvas são mostrados nas Tabelas 26 a 31, para as diferentes variáveis.

Tabela 24. Estimativas dos parâmetros do modelo Logístico ajustado para matéria seca da parte aérea, da copa e da folha em função da idade de povoamentos de clones de teca, de diferentes classes de incremento diamétrico, em duas áreas região de São José dos Quatros Marcos, Mato Grosso.

Clone	Classe Diamétrica	Área 1				Área 2			
		a	b	c	R	a	b	c	R
Parte Aérea									
A12	Inferior	132,037	31,708	0,884	0,817	131,141	59,229	1,034	0,977
A12	Média	197,918	40,068	0,841	0,949	125,144	71,369	1,119	0,965
A12	Superior	296,130	58,984	0,847	0,974	159,986	152,292	1,194	0,976
A3	Inferior	187,647	29,438	0,796	0,965	133,210	46,506	0,943	0,972
A3	Média	233,242	34,673	0,741	0,971	150,826	45,331	0,932	0,982
A3	Superior	282,176	41,895	0,716	0,978	163,160	71,960	1,039	0,990
D19	Inferior	143,962	22,597	0,743	0,946	171,481	64,918	0,983	0,974
D19	Média	222,210	71,086	0,877	0,904	164,260	100,922	1,136	0,977
D19	Superior	322,076	116,635	0,914	0,954	189,294	164,227	1,255	0,978
Copa									
A12	Inferior	34,462	28,550	0,906	0,836	34,437	47,257	1,028	0,969
A12	Média	49,468	33,172	0,845	0,956	33,532	55,188	1,094	0,970
A12	Superior	71,009	44,584	0,831	0,978	42,255	103,705	1,134	0,978
A3	Inferior	46,820	26,570	0,827	0,970	34,881	37,877	0,945	0,974
A3	Média	56,189	29,592	0,764	0,974	39,215	36,406	0,927	0,983
A3	Superior	65,810	34,035	0,732	0,980	42,315	55,073	1,018	0,991
D19	Inferior	37,095	28,039	0,752	0,953	43,821	50,720	0,972	0,975
D19	Média	55,657	53,328	0,850	0,917	42,869	73,507	1,096	0,979
D19	Superior	79,390	73,175	0,844	0,959	48,873	110,514	1,192	0,981
Folha									
A12	Inferior	9,616	28,559	0,906	0,836	9,612	47,230	1,028	0,979
A12	Média	13,801	33,181	0,845	0,956	9,357	55,159	1,094	0,970
A12	Superior	19,810	44,612	0,831	0,978	11,794	103,554	1,133	0,978
A3	Inferior	13,063	26,588	0,827	0,970	9,735	37,826	0,944	0,974
A3	Média	15,674	29,592	0,764	0,974	10,945	36,642	0,927	0,983
A3	Superior	18,365	34,015	0,732	0,980	11,802	55,174	1,019	0,991
D19	Inferior	10,350	28,087	0,752	0,953	12,231	50,670	0,971	0,975
D19	Média	15,533	53,266	0,849	0,917	11,962	73,501	1,096	0,979
D19	Superior	22,149	73,212	0,844	0,959	13,636	110,571	1,193	0,981

a ( $\text{m}^3 \text{ arv}^{-1}$ ), b, c: parâmetros do modelo logístico  $y = \frac{a}{1+b \cdot e^{-cx}}$

Fonte: Autora (2021).

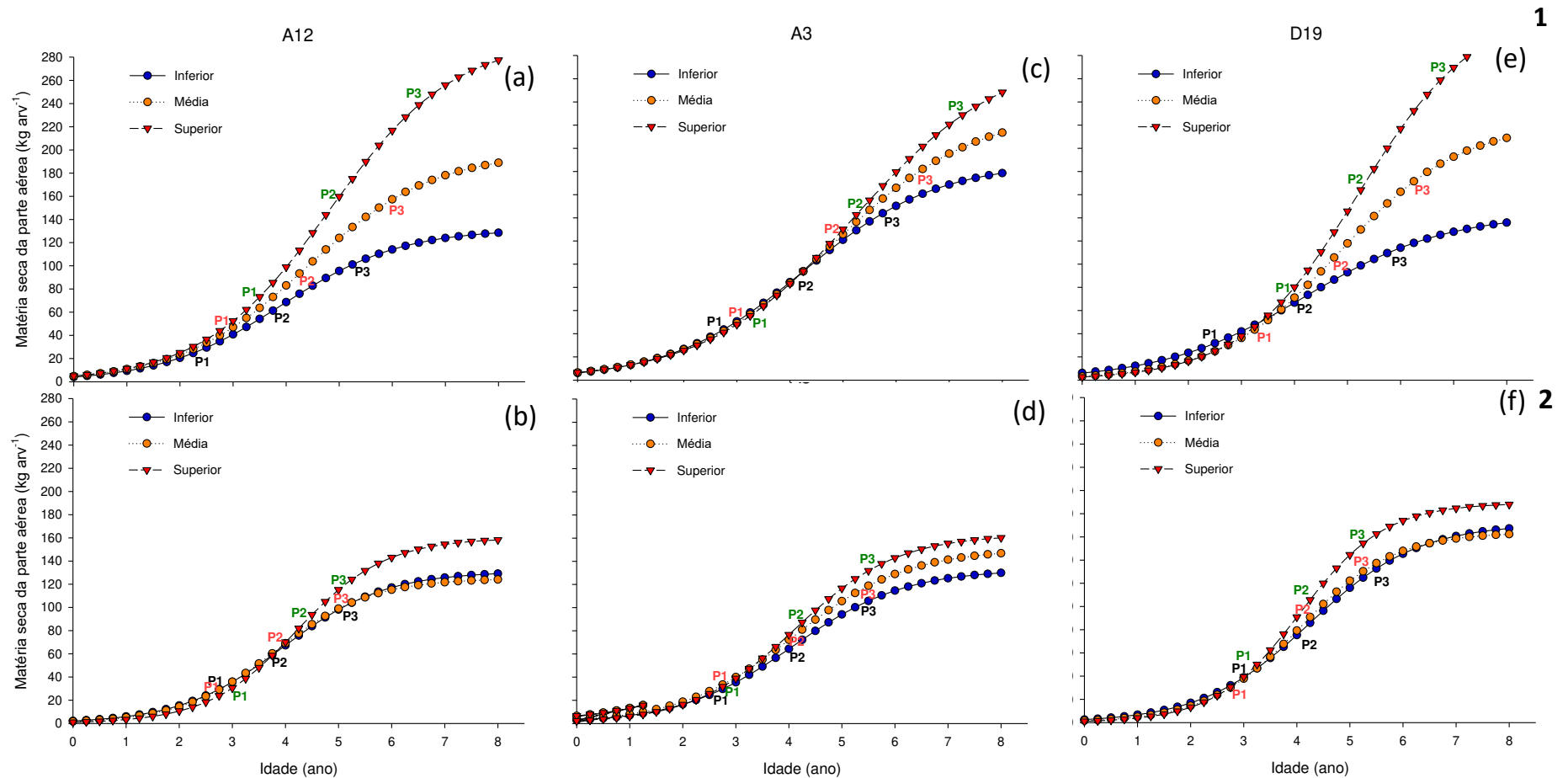
Tabela 25. Estimativas dos parâmetros do modelo Logístico ajustado para matéria seca da parte aérea, da copa e da folha em função da idade de povoamentos de clones de teca, de diferentes classes de incremento diamétrico, em duas áreas região de São José dos Quatros Marcos, Mato Grosso.

Clone	Classe Diamétrica	Área 1				Área 2			
		a	b	c	r	a	b	c	r
Galho									
A12	Inferior	24,851	28,504	0,906	0,810	24,826	47,293	1,029	0,979
A12	Média	35,670	33,160	0,844	0,956	24,177	55,217	1,094	0,970
A12	Superior	51,203	44,568	0,830	0,978	30,468	103,686	1,134	0,978
A3	Inferior	33,760	26,567	0,827	0,970	25,141	37,907	0,945	0,974
A3	Média	40,512	29,588	0,764	0,974	28,272	36,434	0,927	0,983
A3	Superior	47,450	34,028	0,732	0,980	30,505	55,166	1,019	0,991
D19	Inferior	26,749	28,035	0,752	0,953	31,598	50,739	0,972	0,975
D19	Média	40,128	53,345	0,850	0,917	30,908	73,517	1,096	0,979
D19	Superior	57,237	73,186	0,844	0,959	35,238	110,490	1,193	0,981
Tronco									
A12	Inferior	97,564	33,359	0,880	0,810	96,545	65,532	1,042	0,976
A12	Média	147,553	43,466	0,845	0,947	91,471	79,955	1,134	0,963
A12	Superior	223,522	70,249	0,875	0,972	117,474	179,126	1,222	0,975
A3	Inferior	141,060	30,821	0,787	0,963	98,270	50,906	0,947	0,971
A3	Média	177,528	37,047	0,736	0,970	102,455	52,928	0,944	0,981
A3	Superior	217,165	45,574	0,713	0,977	120,598	80,833	1,053	0,990
D19	Inferior	106,805	36,409	0,744	0,943	127,434	72,170	0,992	0,973
D19	Média	166,052	81,580	0,893	0,900	121,156	115,416	1,156	0,976
D19	Superior	241,230	140,620	0,946	0,952	140,180	193,211	1,284	0,978
Lenho									
A12	Inferior	89,659	34,505	0,878	0,806	88,464	69,857	1,048	0,976
A12	Média	136,603	45,814	0,848	0,945	83,484	85,817	1,143	0,962
A12	Superior	209,511	70,880	0,866	0,972	107,532	198,083	1,240	0,974
A3	Inferior	131,055	31,760	0,783	0,962	90,183	53,910	0,950	0,971
A3	Média	166,220	38,659	0,734	0,969	102,455	52,928	0,944	0,981
A3	Superior	204,746	48,089	0,712	0,976	110,802	86,992	1,062	0,989
D19	Inferior	98,330	38,361	0,746	0,941	117,487	77,104	0,986	0,973
D19	Média	153,588	88,227	0,903	0,897	111,201	125,473	1,169	0,975
D19	Superior	223,393	158,516	0,966	0,951	149,782	159,214	1,177	0,982

a ( $\text{m}^3 \text{ arv}^{-1}$ ), b, c: parâmetros do modelo logístico  $y = \frac{a}{1+b \cdot e^{-cx}}$

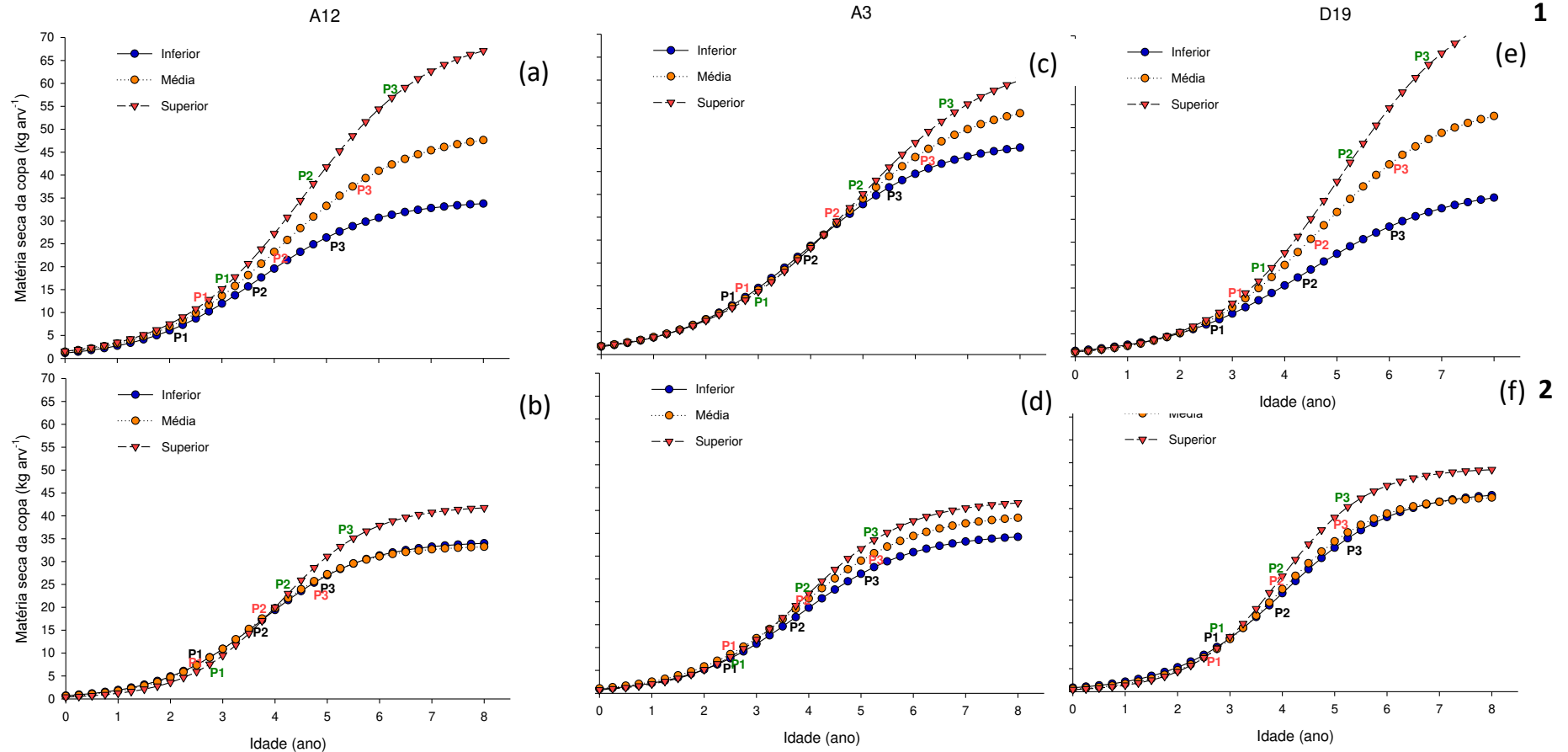
Fonte: Autora (2021).

Figura 8: Curvas estimadas de matéria seca da parte aérea em função da idade para árvores de clones de teca, de diferentes classes de incremento diamétrico, em duas áreas (1 e 2) da região de São José dos Quatro Marcos, Mato Grosso.



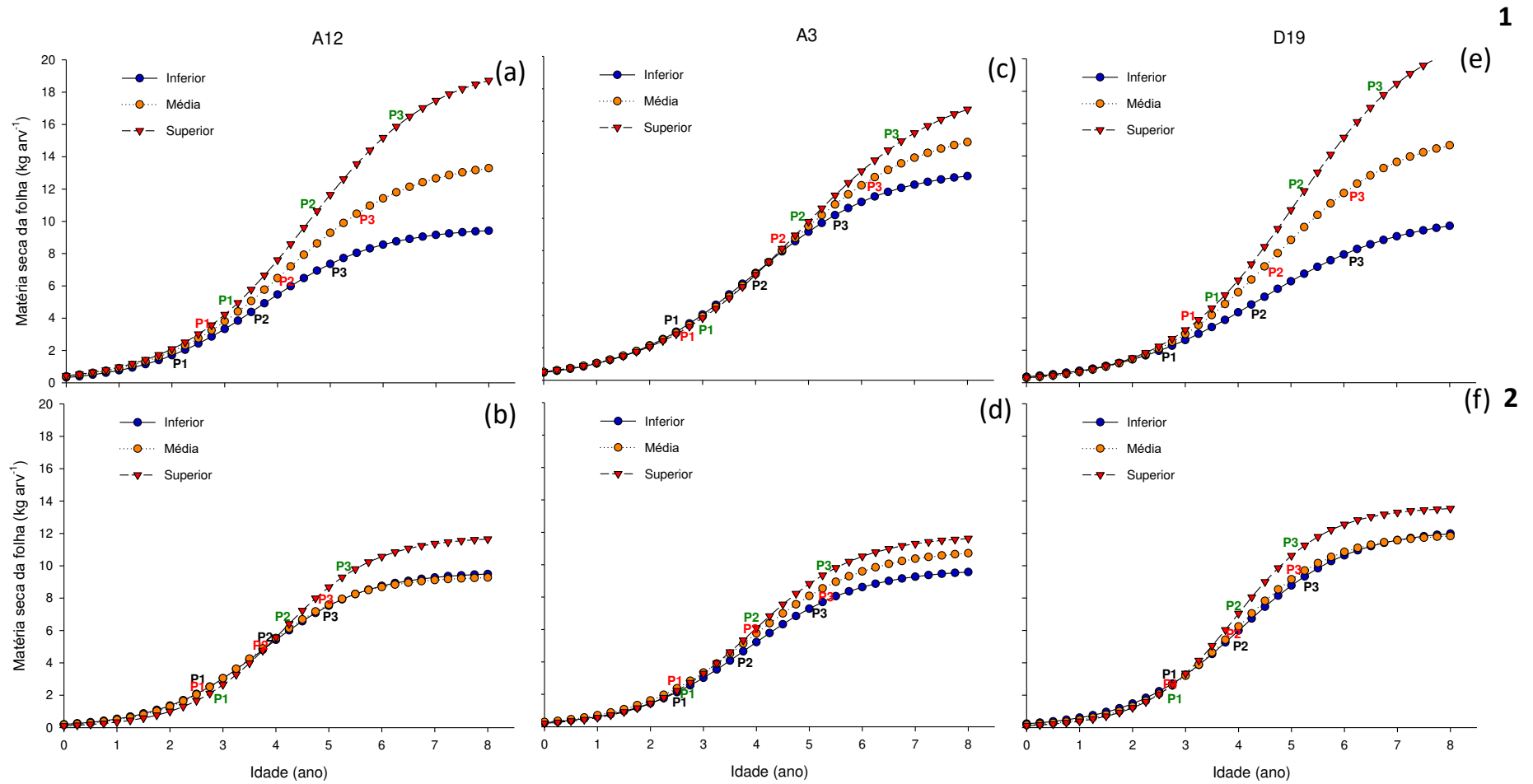
Fonte: Autora (2021).

Figura 9: Curvas estimadas de matéria seca da copa em função da idade para árvores de clones de teca, de diferentes classes de incremento diamétrico, em duas áreas (1 e 2) da região de São José dos Quatro Marcos, Mato Grosso.



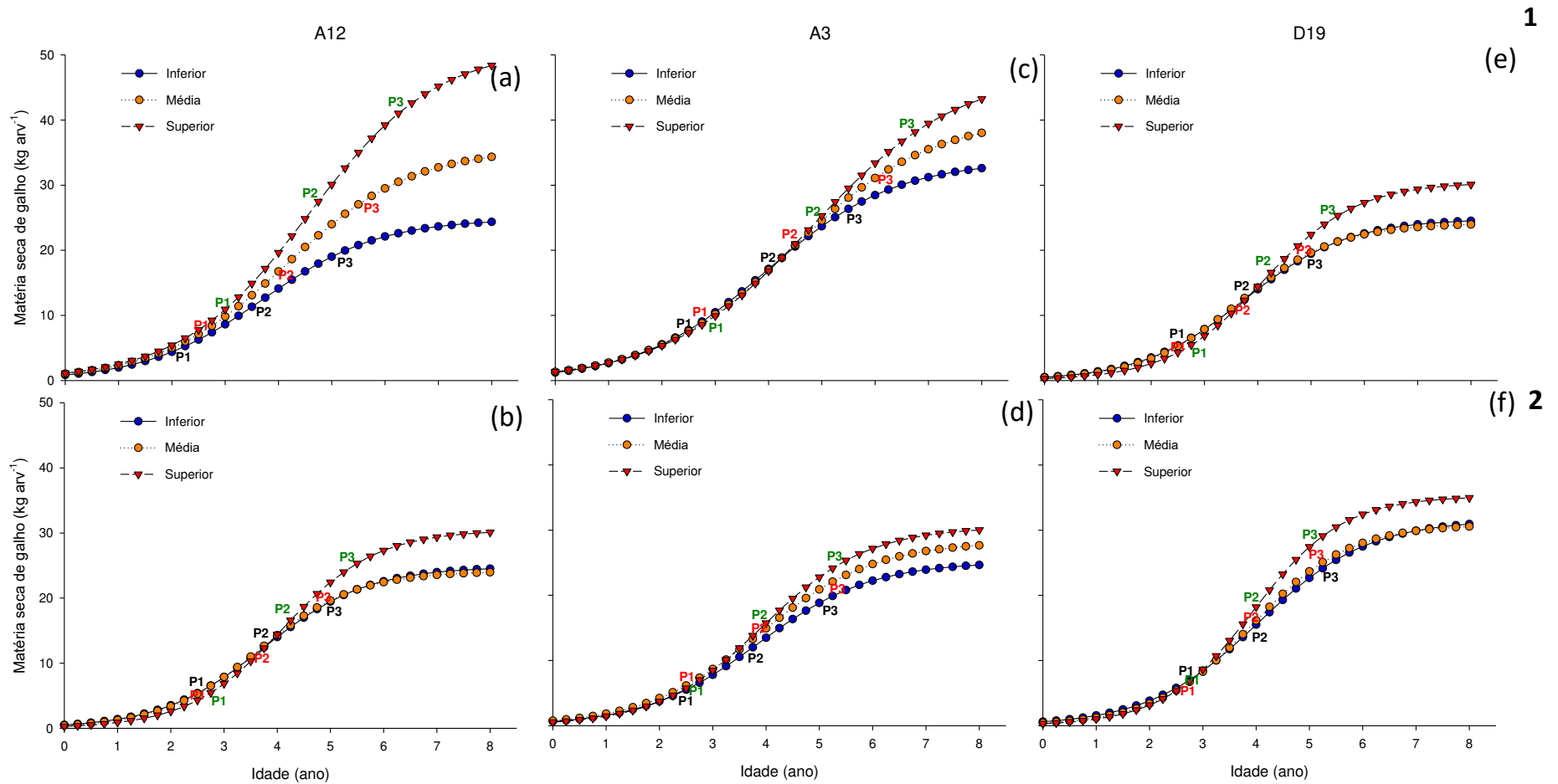
Fonte: Autora (2021).

Figura 10: Curvas estimadas de matéria seca da folha em função da idade para árvores de clones de teca, de diferentes classes de incremento diamétrico, em duas áreas (1 e 2) da região de São José dos Quatro Marcos, Mato Grosso.



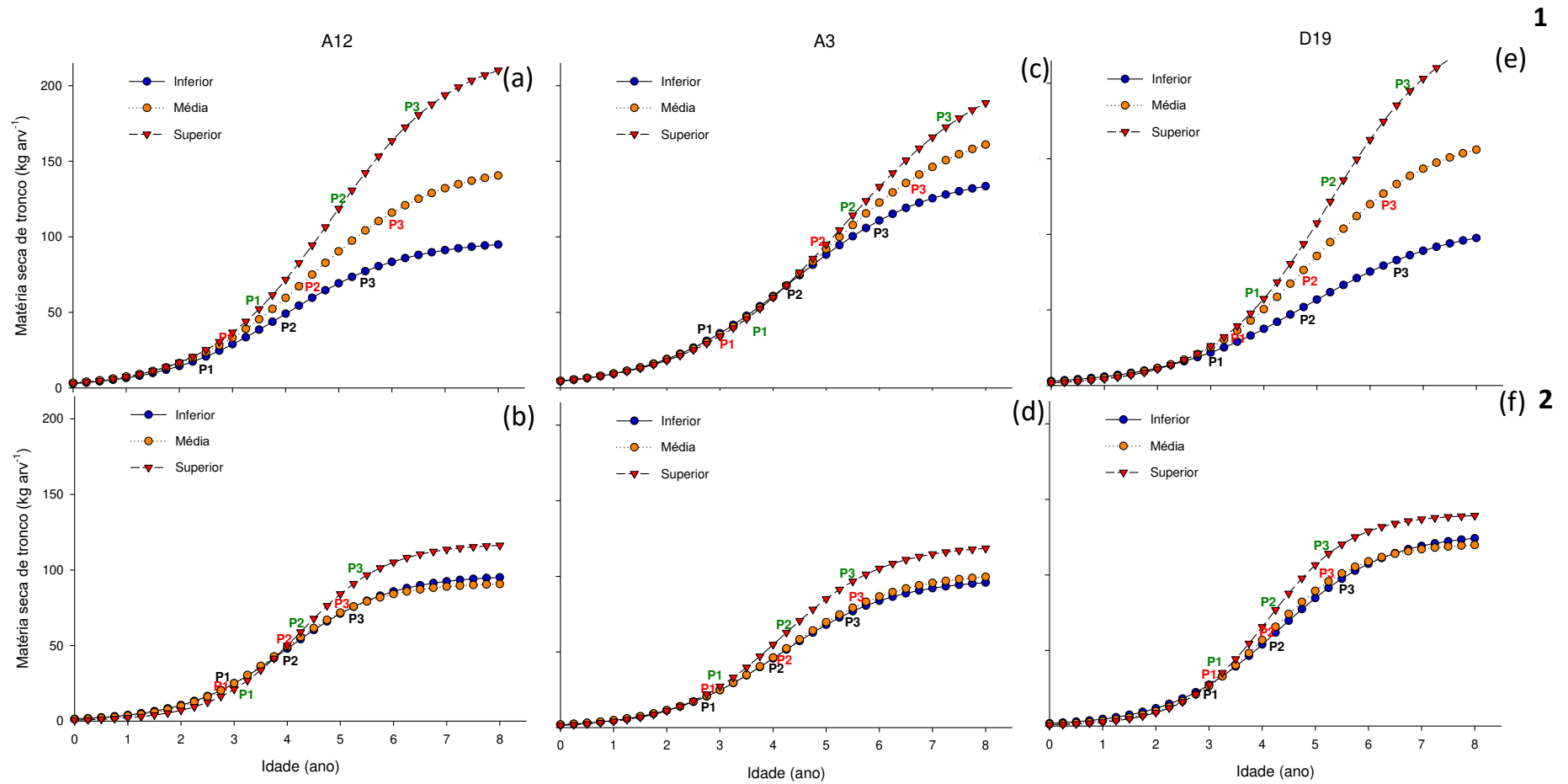
Fonte: Autora (2021).

Figura 11: Curvas estimadas de matéria seca do galho em função da idade para árvores de clones de teca, de diferentes classes de incremento diamétrico, em duas áreas (1 e 2) da região de São José dos Quatro Marcos, Mato Grosso.



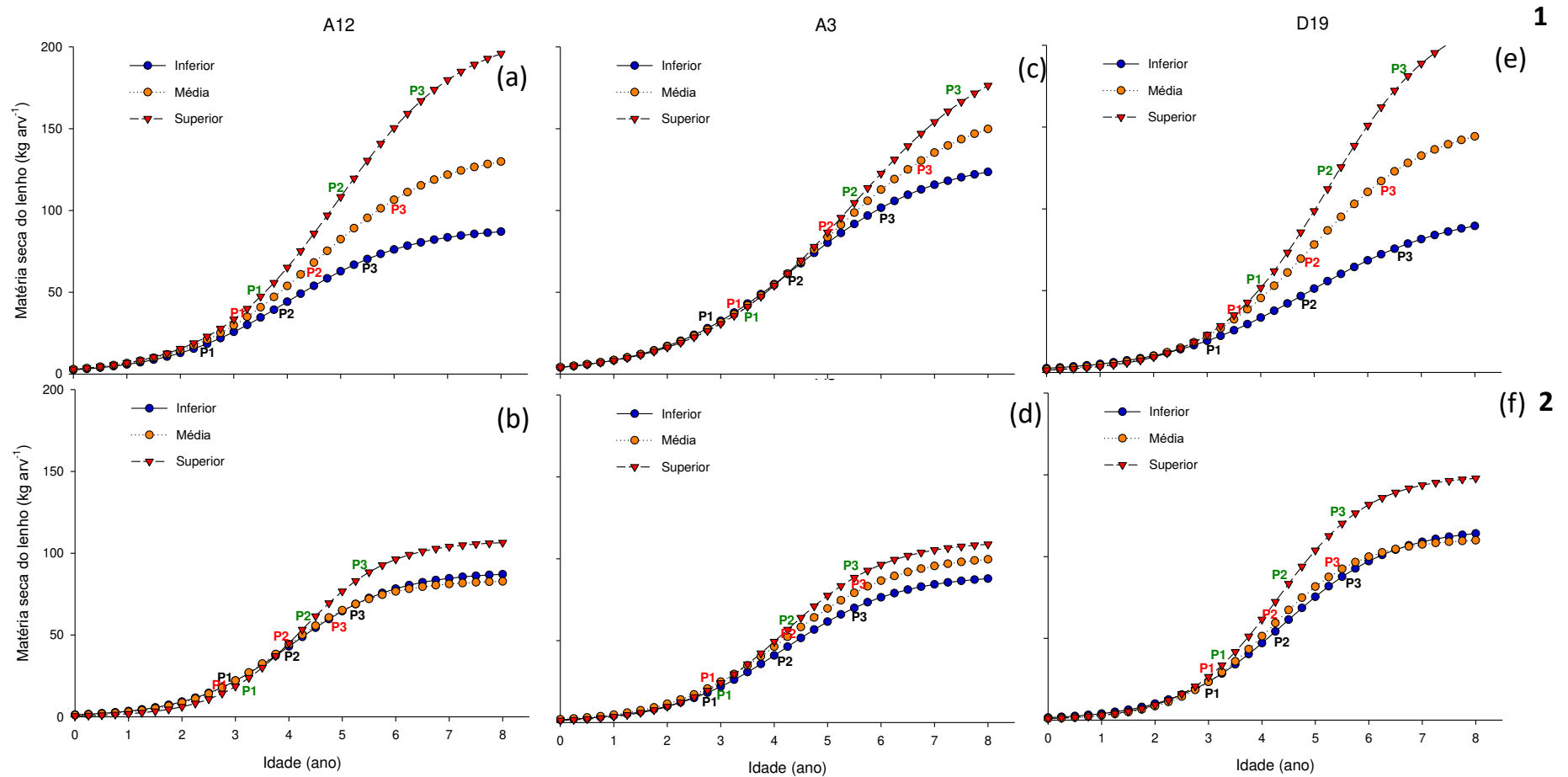
Fonte: Autora (2021).

Figura 12: Curvas estimadas de matéria seca do tronco em função da idade para árvores de clones de teca, de diferentes classes de incremento diamétrico, em duas áreas (1 e 2) da região de São José dos Quatro Marcos, Mato Grosso.



Fonte: Autora (2021).

Figura 13: Curvas estimadas de matéria seca do lenho em função da idade para árvores de clones de teca, de diferentes classes de incremento diamétrico, em duas áreas (1 e 2) da região de São José dos Quatro Marcos, Mato Grosso.



Fonte: Autora (2021).

Tabela 26: Valores de P1, P2 e P3 (ano), e a redução relativa da matéria seca de parte aérea (MSPA) de povoamentos de clones de teca, entre as classes média e superior de incremento diamétrico, em duas áreas da região de São José dos Quatro Marcos, Mato Grosso.

Área 1					
Clone	Pontos	Classe			Redução MSPA (%)
		Inferior	Média	Superior	Méd vs Sup
A12	P1	2,4	2,8	3,2	33,1
	P2	3,9	4,3	4,8	36,5
	P3	5,4	5,9	6,4	35,4
<b>Média</b>					<b>35,0</b>
A3	P1	2,6	3,0	3,7	8,3
	P2	4,3	4,8	5,2	6,4
	P3	4,9	6,5	7,0	6,2
<b>Média</b>					<b>7,0</b>
D19	P1	2,4	3,4	3,8	30,4
	P2	4,2	4,9	5,2	29,9
	P3	6,0	6,4	6,7	30,1
<b>Média</b>					<b>30,1</b>
Área 2					
A12	P1	2,7	2,6	3,1	21,8
	P2	3,9	3,8	4,2	17,7
	P3	5,2	5,0	5,3	15,9
<b>Média</b>					<b>18,5</b>
A3	P1	2,7	2,7	2,8	-6,2
	P2	4,1	4,1	4,1	-3,7
	P3	5,5	5,5	5,4	-1,4
<b>Média</b>					<b>-3,7</b>
D19	P1	2,9	2,9	3,0	4,4
	P2	4,2	4,1	4,1	4,8
	P3	5,6	5,2	5,1	4,8
<b>Média</b>					<b>4,7</b>

Fonte: Autora (2021).

Tabela 27: Valores de P1, P2 e P3 (ano), e a redução relativa da matéria seca de copa (MSCOPA) de povoamentos de clones de teca, entre as classes média e superior de incremento diamétrico, em duas áreas da região de São José dos Quatro Marcos, Mato Grosso.

Área 1					
Clone	Pontos	Classe			Redução MSCOPA (%)
		Inferior	Média	Superior	Méd vs Sup
A12	P1	2,2	2,6	3,0	33,9
	P2	3,7	4,1	4,6	35,3
	P3	5,2	5,7	6,2	33,2
<b>Média</b>					<b>34,1</b>
A3	P1	2,4	2,7	3,0	19,4
	P2	4,0	4,4	4,8	19,5
	P3	5,6	6,2	6,6	16,5
<b>Média</b>					<b>18,5</b>
D19	P1	2,7	3,1	3,5	32,2
	P2	4,4	4,7	5,1	30,6
	P3	6,2	6,2	6,6	30,1
<b>Média</b>					<b>30,9</b>
Área 2					
A12	P1	2,5	2,5	2,9	14,6
	P2	3,7	3,7	4,1	16,9
	P3	5,0	4,9	5,3	18,9
<b>Média</b>					<b>16,8</b>
A3	P1	2,5	2,5	2,6	-27,0
	P2	3,8	3,9	3,9	-4,8
	P3	5,2	5,3	5,2	-2,9
<b>Média</b>					<b>-11,6</b>
D19	P1	2,7	2,7	2,8	3,9
	P2	4,0	3,9	3,9	2,8
	P3	5,4	5,1	5,1	8,7
<b>Média</b>					<b>5,2</b>

Fonte: Autora (2021).

Tabela 28: Valores de P1, P2 e P3 (ano), e a redução relativa da matéria seca de folha (MSF) de povoamentos de clones de teca, entre as classes média e superior de incremento diamétrico, em duas áreas da região de São José dos Quatro Marcos, Mato Grosso.

Área 1					
Clone	Pontos	Classe			Redução MSF (%)
		Inferior	Média	Superior	Méd vs Sup
A12	P1	2,2	2,6	3,0	33,8
	P2	3,7	4,1	4,6	35,3
	P3	5,2	5,7	6,2	33,2
<b>Média</b>					<b>34,1</b>
A3	P1	2,4	2,7	3,0	-1,4
	P2	4,0	4,4	4,8	-1,2
	P3	5,6	6,2	6,6	2,1
<b>Média</b>					<b>-0,2</b>
D19	P1	2,7	3,1	3,5	32,1
	P2	4,4	4,7	5,1	30,6
	P3	6,2	6,2	6,6	30,1
<b>Média</b>					<b>30,9</b>
Área 2					
A12	P1	2,5	2,5	2,9	14,7
	P2	3,8	3,7	4,1	16,9
	P3	5,0	4,9	5,3	18,9
<b>Média</b>					<b>16,8</b>
A3	P1	2,5	2,5	2,6	-5,5
	P2	3,8	3,9	3,9	-4,4
	P3	5,2	5,3	5,2	-2,6
<b>Média</b>					<b>-4,2</b>
D19	P1	2,7	2,7	2,8	3,8
	P2	4,0	3,9	3,9	2,9
	P3	5,4	5,1	5,0	3,1
<b>Média</b>					<b>3,3</b>

Fonte: Autora (2021).

Tabela 29: Valores de P1, P2 e P3 (ano), e a redução relativa da matéria seca de galho (MSG) de povoamentos de clones de teca, entre as classes média e superior de incremento diamétrico, em duas áreas da região de São José dos Quatro Marcos, Mato Grosso.

Área 1					
Clone	Pontos	Classe			Redução MSG (%) Méd vs Sup
		Inferior	Média	Superior	
A12	P1	2,2	2,6	3,0	33,9
	P2	3,7	4,1	4,6	35,3
	P3	5,2	5,7	6,2	33,2
<b>Média</b>					<b>34,1</b>
A3	P1	2,4	2,7	3,0	19,4
	P2	4,0	4,4	4,8	19,5
	P3	5,6	6,2	6,6	16,5
<b>Média</b>					<b>18,5</b>
D19	P1	2,7	3,1	3,5	32,2
	P2	4,4	4,7	5,1	30,6
	P3	6,2	6,2	6,6	30,1
<b>Média</b>					<b>30,9</b>
Área 2					
A12	P1	2,5	2,5	2,9	14,7
	P2	3,7	3,7	4,1	16,9
	P3	5,0	4,9	5,3	18,9
<b>Média</b>					<b>16,8</b>
A3	P1	2,5	3,8	5,2	-6,0
	P2	2,5	3,9	5,3	-4,9
	P3	2,6	3,9	5,2	-2,9
<b>Média</b>					<b>-4,6</b>
D19	P1	2,7	4,0	5,4	4,1
	P2	2,7	3,9	5,1	3,0
	P3	2,8	3,9	5,0	3,1
<b>Média</b>					<b>3,4</b>

Fonte: Autora (2021).

Tabela 30: Valores de P1, P2 e P3 (ano), e a redução relativa da matéria seca de tronco (MSTR) de povoamentos de clones de teca, entre as classes média e superior de incremento diamétrico, em duas áreas da região de São José dos Quatro Marcos, Mato Grosso.

Área 1							
Clone	Pontos	Classe			Redução MSTR (%)		
		Inferior	Média	Superior	Inf vs Sup	Méd vs Sup	Inf vs Média
A12	P1	2,5	2,9	3,4		37,0	
	P2	4,0	4,5	4,9		32,7	
	P3	5,5	6,0	6,4		33,7	
<b>Média</b>						<b>34,5</b>	
A3	P1	2,7	3,1	3,5		23,2	
	P2	4,4	4,9	5,4		23,5	
	P3	6,0	6,7	7,2		20,9	
<b>Média</b>						<b>22,6</b>	
D19	P1	3,1	3,5	3,8		23,5	
	P2	4,8	4,9	5,2		27,6	
	P3	6,6	6,4	6,6		26,7	
<b>Média</b>						<b>25,9</b>	
Área 2							
A12	P1	2,8	2,7	3,2		21,7	
	P2	4,0	3,9	4,2		10,9	
	P3	5,3	5,0	5,3		16,5	
<b>Média</b>						<b>16,4</b>	
A3	P1	2,8	2,8	2,9		6,8	
	P2	4,1	4,2	4,2		8,5	
	P3	5,5	5,6	5,4		4,5	
<b>Média</b>						<b>6,6</b>	
D19	P1	3,0	3,0	3,1		5,1	
	P2	4,3	4,1	4,1		5,1	
	P3	5,6	5,2	5,1		5,2	
<b>Média</b>						<b>5,1</b>	

Fonte: Autora (2021).

Tabela 31: Valores de P1, P2 e P3 (ano), e a redução relativa da matéria seca de lenho (MSL) de povoamentos de clones de teca, entre as classes média e superior de incremento diamétrico, em duas áreas da região de São José dos Quatro Marcos, Mato Grosso.

Área 1					
Clone	Pontos	Classe			Redução MSL (%)
		Inferior	Média	Superior	Méd vs Sup
A12	P1	2,5	3,0	3,4	33,3
	P2	4,0	4,5	4,9	33,7
	P3	5,5	6,1	6,4	31,4
<b>Média</b>					<b>32,8</b>
A3	P1	2,7	3,2	3,6	22,9
	P2	4,4	5,0	5,4	19,4
	P3	6,1	6,8	7,3	21,2
<b>Média</b>					<b>21,1</b>
D19	P1	3,1	3,5	3,9	29,5
	P2	4,9	5,0	5,2	22,9
	P3	6,7	6,4	6,6	27,2
<b>Média</b>					<b>26,5</b>
Área 2					
A12	P1	2,8	2,7	3,2	21,5
	P2	4,1	3,9	4,3	18,7
	P3	5,3	5,0	5,3	17,0
<b>Média</b>					<b>19,1</b>
A3	P1	2,8	2,8	3,0	3,6
	P2	4,2	4,2	4,2	-2,9
	P3	5,6	5,6	5,4	-6,1
<b>Média</b>					<b>-1,8</b>
D19	P1	3,1	3,0	3,2	27,2
	P2	4,4	4,1	4,3	27,1
	P3	5,7	5,3	5,4	22,3
<b>Média</b>					<b>25,6</b>

Fonte: Autora (2021).

Para o clone A12, os valores de P1, ou seja, a idade de máxima aceleração da acumulação de biomassa de parte aérea (MSPA) das populações da classe de incremento diamétrico inferior ocorrem aos 2,4 anos na área 1 e aos 2,7 anos na área 2 (Tabela 26); para a classe média P1 ocorre aos 2,8 na área 1 e aos 2,6 anos na área 2, e, para a classe superior P1 ocorre em torno de 3,1 a 3,2 anos (Tabela 26 e Figura 8). Já para produção de matéria seca de copa (MSCOPA, tabela 27), de folha (MSF, Tabela 28), e de galho (MSG, Tabela 29), P1 aos 2,4 anos na classe inferior, aos 2,5 anos na classe média e aos 3,0 anos na classe superior. Já para matéria seca de tronco (MSTR, Tabela 30) e lenho (MSL, Tabela 31) P1 ocorre mais tardiamente: na classe inferior (2,6 anos), na classe média (2,8 anos) e superior (3,3 anos).

No clone A12, a idade em que ocorre o ICA máximo, ou seja, P2, para os compartimentos da parte aérea (MSPA, MSCOPA, MSF e MSG) acontece, em média, aos 3,7 anos na classe inferior, 3,9 anos na classe média e 4,3 anos na classe superior, em ambas as áreas. Para MSL e MSTR, nesse clone o ponto P2 ocorre em média de 4,0 a 4,6 anos nas populações das diferentes classes de incremento diamétrico. Além disso, em P3, no qual a desaceleração do crescimento é máxima, a MSPA atinge valores superiores na classe inferior e acima de 5 anos. Para MSL e MSTR, P3 ocorre aos 5,4 anos para classe inferior e acima de 6 anos para as classes média e superior.

No clone A3 os pontos P1 e P2 ocorrem em idades próximas das verificadas no clone A12, sendo que para copa, para folha e para galho acontecem mais cedo em relação ao tronco e lenho. Comparando as áreas, vê-se que esses pontos ocorrem em idades maiores na área 1. Os valores de P3 ocorrem em média aos 5,5 anos na área 2, mais cedo que na área 1 (6 anos para parte aérea), para a biomassa de tronco, P3 ocorre aos 5,9 anos, na classe inferior e aos 6,3 anos na classe superior.

No clone D19, na área 2 os pontos P1 e P2 ocorrem em idades bem próximas entre as classes, já na aérea 1, há maior diferença entre as classes quanto a P1 e P2, para a biomassa da parte aérea e de seus componentes. Nesse clone, na área 1, para MSPA da classe superior, P3 ocorre aos 7 anos de idade na classe superior, indicando crescimento por mais tempo do que na aérea 2, onde P3 ocorre aos 5 anos (Tabela 26). Também, para MSTR (Tabela 30) e MSL (Tabela 31), P3 ocorre em idade mais tardia (aos 6,5 anos) do que na área 2 (aos 5,3 anos), ou seja, a tendência à estabilização do crescimento do componente comercial ocorrendo mais precocemente, 1,2 ano, na área 2.

De maneira geral, para os três clones avaliados, os valores de P1, P2 e P3 ocorrem mais tardiamente para tronco e lenho em relação à folha e galho, como esperado, pois o aumento da área foliar antecede o da produção de madeira do tronco (SCHUMACHER et al., 2011).

Os valores de redução relativa na produção de biomassa da população da classe média de incremento diamétrico em relação à classe superior para as duas áreas, 1 e 2, nos intervalos de tempo definidos até os pontos P1, P2 e P3, são mostrados nas Tabelas 26 a 31. As maiores reduções ocorrem para todas as variáveis, na área 1 de que na área 2. e são maiores, em geral, para os clones A12 e D19 do que no clone A3, clone para o qual há, inclusive, reduções negativas.

As diferenças de produção de biomassa de MSPA e do órgão de interesse comercial (MSTR e MSL) entre os clones e para um mesmo clone, nas áreas 1 e 2, podem ser atribuídas ao solo, uma vez que as condições de clima e de relevo são semelhantes entre as áreas. Nesse sentido, fica, mais uma vez, clara a maior estabilidade do clone A3 e, também, a necessidade de estudos adicionais para elucidar o efeito do solo.

### 3.4.3 Modelagem da acumulação de macronutrientes

As equações logísticas ajustadas para estimar a acumulação de macronutrientes na biomassa da parte aérea, e dos componentes copa, tronco e lenho, em função da idade das árvores nas duas áreas, 1 e 2, são significativas e com elevados valores de R, indicativos da excelente qualidade de ajuste (Tabelas 32 a 39). Contudo, a seguir, serão discutidas apenas as curvas referentes à acumulação na parte aérea (Figuras 14 a 19), bem como as idades em que nessas curvas, e nas de acumulação de biomassa, os pontos P1, P2 e P3 ocorrem (Tabela 40).

Para o clone A12, a idade de máxima aceleração da acumulação do conteúdo acontece antecipadamente na classe inferior em comparação com a média e superior (Figuras 14 a 19), sendo que na população da classe superior quanto ao incremento diamétrico, o ponto P1 ocorre entre 2 e 3 anos para todos os nutrientes, exceto apenas para CPPA na área 2 em que ocorre mais precocemente, aos 1,8 anos (Figura 15 b e Tabela 40).

No clone A12, o ponto P2, a idade de incremento máximo da acumulação de nutrientes, acontece antes na classe inferior em relação à classe superior. Na classe superior, P2 ocorre próximo da idade dos 4 anos para todos os nutrientes na área 1 (Figuras 14 a 19, e Tabela 40); já na área 2, apenas para P e S P2 ocorre em idade inferior aos 4 anos (Figuras 15 e 19, Tabela 40). O ponto P3 corresponde à idade de máxima desaceleração da acumulação de nutrientes, ocorrendo primeiramente na classe inferior para todos os macronutrientes, em média aos 4,8 anos, em ambas as áreas, na classe média ocorre aos 5 anos e aos 6 anos na classe superior, com exceção do P para o qual P3 é atingido aos 5,8 anos, na área 1, e aos 5,0 anos na área 2, evidenciando, para P, a diferença entre os sítios quanto à sua acumulação nas árvores.

Para o clone A3, e até a idade em que ocorre o ponto P2, é possível notar, que as curvas de acumulação de macronutrientes são mais próximas (Figuras 14 a 19, Tabela 40) entre as populações das diferentes classes de incremento diamétrico, de que as para os outros clones, ou seja, para um mesmo nutriente o padrão de acumulação é mais semelhante entre essas populações. Contudo, percebe-se que as idades são maiores para classe superior, tanto na área 1 como na área 2. Já, em relação ao em que se inicia a estabilização da acumulação observa-se, na área 1, para Ca e Mg, nas classes média e superior, que P3 ocorre mais tardiamente em relação aos demais macronutrientes (Figuras 14 a 19, Tabela 40).

Para o clone D19, os valores de P1 são maiores na classe superior em relação às demais classes, para todos os nutrientes e nas duas áreas. Comparando as áreas, vê-se que P1 ocorre mais tarde na área 1. Em relação ao ponto P2, o valor é maior para esse clone do que para os demais, ocorrendo, na classe superior, aos 5 anos, para N, K, Mg e Ca na área 1 (Figuras 15, 16, 17 e 18, Tabela 40). Em relação ao ponto P3, as idades em se iniciam a estabilização do acúmulo de nutrientes ocorrem a partir dos 5 anos na classe inferior e a partir dos 6 anos nas classes média e superior; já na área 2, P3 ocorrem mais próximas dos 5 anos, inclusive na classe superior.

As reduções relativas dos conteúdos de macronutrientes, entre as classes média e superior quanto ao incremento diamétrico, variaram mais com a área (sendo maiores na área 1) e com o clone ( $A12$  e  $D19 > A3$ ) do que ao longo do período de crescimento dos povoamentos e entre nutrientes (Tabela 41).

A análise dos resultados da Tabela 40 permite propor que, em povoamentos de teca, a acumulação de macronutrientes antecede a acumulação de biomassa, como também verificado para eucalipto, com base na análise dos resultados de Silva (1999) e nos modelos matemáticos propostos por Valadares (2015) e Valadares et al., (2020). Essa antecipação da acumulação relativa de nutrientes em relação à de carbono, resulta de que após os estádios iniciais, em que a produção de raízes é priorizada, há a produção de tecidos mais ricos em nutrientes (especialmente as folhas), e a seguir em razão da ciclagem bioquímica e da alocação de carbono passar a ocorrer no fuste, cujos tecidos têm menores teores de nutrientes.

Considera-se que as equações obtidas neste trabalho são de grande utilidade para subsidiar o manejo nutricional e a fertilização de reposição, pós-desbaste.

Tabela 32. Estimativas dos parâmetros dos modelos logístico ajustado para os conteúdos de nitrogênio, fósforo e potássio na parte aérea em função da idade (ano) de povoamentos de clones de teca, de diferentes classes de incremento diamétrico, em duas áreas da região de São José dos Quatros Marcos, Mato Grosso

Clone	Classe Diamétrica	Área 1				Área 2			
		a	b	c	r	a	b	c	r
Conteúdo de Nitrogênio (g arv <sup>-1</sup> )									
A12	Inferior	448,723	26,681	0,933	0,853	445,843	38,316	1,028	0,980
A12	Média	625,625	29,128	0,854	0,961	443,851	43,069	1,070	0,973
A12	Superior	876,666	36,869	0,821	0,980	556,210	71,413	1,070	0,980
A3	Inferior	592,111	24,882	0,856	0,973	451,910	31,439	0,951	0,975
A3	Média	695,411	26,598	0,785	0,976	507,834	29,926	0,922	0,984
A3	Superior	799,764	29,580	0,747	0,981	547,501	43,232	0,998	0,992
D19	Inferior	475,140	24,437	0,769	0,959	560,783	40,389	0,959	0,976
D19	Média	703,842	42,330	0,830	0,925	558,415	54,483	1,055	0,981
D19	Superior	994,826	53,486	0,799	0,962	633,922	76,676	1,129	0,983
Conteúdo de Fósforo (g arv <sup>-1</sup> )									
A12	Inferior	32,401	26,057	0,956	0,863	32,012	24,711	1,039	0,981
A12	Média	44,253	27,350	0,867	0,964	32,291	38,196	1,066	0,975
A12	Superior	60,724	33,218	0,824	0,982	40,215	58,941	1,043	0,981
A3	Inferior	41,980	24,204	0,880	0,975	32,510	28,694	0,962	0,976
A3	Média	48,605	25,196	0,804	0,977	36,498	27,100	0,927	0,984
A3	Superior	55,198	27,417	0,762	0,982	39,254	38,259	0,996	0,992
D19	Inferior	33,991	22,940	0,785	0,962	39,923	36,007	0,962	0,977
D19	Média	49,580	37,462	0,827	0,931	40,151	46,674	1,041	0,982
D19	Superior	69,137	44,801	0,782	0,964	45,433	63,137	1,101	0,984
Conteúdo de Potássio (g arv <sup>-1</sup> )									
A12	Inferior	459,424	27,090	0,923	0,848	457,289	40,324	1,025	0,980
A12	Média	646,796	30,143	0,849	0,959	452,466	45,775	1,074	0,972
A12	Superior	915,227	38,919	0,822	0,980	568,549	78,548	1,084	0,979
A3	Inferior	611,744	25,292	0,846	0,972	463,272	32,936	0,947	0,975
A3	Média	723,561	27,383	0,777	0,975	520,948	31,461	0,921	0,984
A3	Superior	837,389	30,778	0,741	0,981	562,156	45,973	1,001	0,991
D19	Inferior	488,632	25,292	0,762	0,957	577,767	42,795	0,960	0,960
D19	Média	728,632	45,072	0,833	0,922	572,437	58,813	1,063	0,980
D19	Superior	1035,370	58,559	0,810	0,961	650,890	84,418	1,144	0,982

a, b, c: parâmetros do modelo logístico  $y = \frac{a}{1+b \cdot e^{-cx}}$

Fonte: Autora (2021).

Tabela 33. Estimativas dos parâmetros dos modelos logístico ajustado para os conteúdos de cálcio, magnésio e enxofre na parte aérea em função da idade (ano) de povoamentos de clones de teca, de diferentes classes de incremento diamétrico, em duas áreas da região de São José dos Quatros Marcos, Mato Grosso

Clone	Classe Diamétrica	Área 1				Área 2			
		a	b	c	r	a	b	c	r
Conteúdo de Cálcio (g arv <sup>-1</sup> )									
A12	Inferior	521,621	28,475	0,903	0,835	520,230	46,411	1,023	0,979
A12	Média	752,285	33,279	0,841	0,956	507,023	53,988	1,087	0,969
A12	Superior	1090,463	45,225	0,827	0,978	641,330	101,042	1,124	0,978
A3	Inferior	711,531	26,600	0,823	0,969	526,914	37,388	0,941	0,974
A3	Média	857,490	29,756	0,760	0,974	593,827	36,014	0,922	0,983
A3	Superior	1009,111	34,382	0,728	0,980	641,880	54,263	1,011	0,991
D19	Inferior	560,827	27,931	0,750	0,953	665,482	49,997	0,965	0,975
D19	Média	848,893	53,518	0,846	0,915	650,642	72,102	1,088	0,979
D19	Superior	1218,915	75,126	0,844	0,958	743,222	108,792	1,185	0,981
Conteúdo de Magnésio (g arv <sup>-1</sup> )									
A12	Inferior	173,843	28,808	0,900	0,833	173,368	47,774	1,023	0,979
A12	Média	251,860	33,991	0,840	0,955	168,493	55,832	1,091	0,969
A12	Superior	366,742	46,660	0,829	0,977	213,397	106,250	1,133	0,978
A3	Inferior	238,294	26,900	0,819	0,969	175,622	38,374	0,941	0,973
A3	Média	288,259	30,285	0,757	0,973	198,026	37,020	0,923	0,983
A3	Superior	340,366	35,184	0,726	0,979	214,100	56,121	1,014	0,991
D19	Inferior	187,275	28,529	0,748	0,952	222,345	51,600	0,966	0,975
D19	Média	284,218	55,441	0,849	0,914	216,820	75,115	1,094	0,979
D19	Superior	408,746	79,098	0,852	0,958	247,917	114,430	1,193	0,981
Conteúdo de Enxofre (g arv <sup>-1</sup> )									
A12	Inferior	51,982	26,729	0,932	0,852	51,669	38,558	1,027	0,980
A12	Média	72,562	29,248	0,853	0,961	51,391	43,394	1,070	0,973
A12	Superior	101,809	37,120	0,821	0,980	64,426	72,267	1,072	0,979
A3	Inferior	68,666	24,935	0,855	0,973	52,363	31,618	0,950	0,975
A3	Média	80,719	26,696	0,784	0,976	58,848	30,112	0,922	0,984
A3	Superior	92,904	29,728	0,746	0,901	63,447	43,574	0,999	0,992
D19	Inferior	55,077	24,543	0,768	0,959	65,018	40,679	0,959	0,976
D19	Média	81,650	42,663	0,831	0,925	64,700	55,020	1,056	0,981
D19	Superior	115,493	54,091	0,801	0,962	73,465	77,618	1,131	0,983

a, b, c: parâmetros do modelo logístico  $y = \frac{a}{1+b \cdot e^{-cx}}$

Fonte: Autora (2021).

Tabela 34. Estimativas dos parâmetros dos modelos logístico ajustado para os conteúdos de nitrogênio, fósforo e potássio na copa em função da idade (ano) de povoamentos de clones de teca, de diferentes classes de incremento diamétrico, em duas áreas da região de São José dos Quatros Marcos, Mato Grosso

Clone	Classe Diamétrica	Área 1				Área 2			
		a	b	c	r	a	b	c	r
Conteúdo de Nitrogênio (g arv <sup>-1</sup> )									
A12	Inferior	312,732	26,391	0,942	0,857	310,175	36,772	1,032	0,981
A12	Média	432,027	28,320	0,859	0,859	310,436	40,983	1,068	0,974
A12	Superior	599,504	35,189	0,823	0,981	387,867	65,958	1,059	0,980
A3	Inferior	409,273	24,570	0,866	0,974	314,584	30,263	0,956	0,976
A3	Média	477,564	25,960	0,793	0,977	353,258	28,704	0,925	0,984
A3	Superior	546,013	28,591	0,753	0,981	380,418	41,083	0,998	0,992
D19	Inferior	329,874	23,769	0,775	0,960	388,448	38,502	0,961	0,976
D19	Média	485,164	40,130	0,829	0,928	388,474	51,121	1,049	0,982
D19	Superior	681,542	49,126	0,791	0,963	440,288	70,683	1,118	0,983
Conteúdo de Fósforo (g arv <sup>-1</sup> )									
A12	Inferior	17,614	25,834	0,983	0,873	17,298	32,192	1,056	0,982
A12	Média	23,548	26,091	0,885	0,967	17,652	34,739	1,069	0,977
A12	Superior	31,566	30,416	0,834	0,983	21,804	50,236	1,026	0,981
A3	Inferior	22,418	23,826	0,907	0,977	17,600	26,698	0,979	0,977
A3	Média	25,594	24,165	0,826	0,979	19,739	24,964	0,937	0,985
A3	Superior	28,705	25,731	0,781	0,983	21,150	33,628	0,995	0,995
D19	Inferior	18,324	21,915	0,807	0,965	21,376	32,784	0,971	0,978
D19	Média	26,213	33,781	0,830	0,936	21,673	41,191	1,035	0,983
D19	Superior	35,874	38,303	0,772	0,967	24,427	53,557	1,083	0,985
Conteúdo de Potássio (g arv <sup>-1</sup> )									
A12	Inferior	187,083	26,582	0,936	0,854	185,815	37,822	1,030	0,980
A12	Média	259,903	28,835	0,856	0,961	185,303	42,403	1,070	0,973
A12	Superior	362,697	36,232	0,822	0,981	231,896	69,612	1,067	0,980
A3	Inferior	246,071	24,770	0,860	0,973	188,374	31,055	0,953	0,975
A3	Média	288,263	26,362	0,788	0,976	211,586	29,518	0,924	0,984
A3	Superior	330,727	29,208	0,750	0,981	228,313	42,135	0,995	0,992
D19	Inferior	197,849	24,205	0,771	0,960	233,256	39,768	0,960	0,976
D19	Média	292,158	41,537	0,830	0,926	232,626	53,366	1,053	0,981
D19	Superior	411,848	51,917	0,797	0,963	263,885	74,620	1,126	0,983

a, b, c: parâmetros do modelo logístico  $y = \frac{a}{1+b \cdot e^{-cx}}$

Fonte: Autora (2021).

Tabela 35. Estimativas dos parâmetros dos modelos logístico ajustado para os conteúdos de cálcio, magnésio e enxofre na copa em função da idade (ano) de povoamentos de clones de teca, de diferentes classes de incremento diamétrico, em duas áreas da região de São José dos Quatros Marcos, Mato Grosso

Clone	Classe Diamétrica	Área 1				Área 2			
		a	b	c	r	a	b	c	r
Conteúdo de Cálcio (g arv <sup>-1</sup> )									
A12	Inferior	328,592	28,466	0,935	0,835	327,709	46,373	1,023	0,979
A12	Média	473,838	33,260	0,841	0,956	319,427	53,938	1,087	0,969
A12	Superior	686,763	45,185	0,827	0,978	404,020	100,902	1,124	0,978
A3	Inferior	448,162	26,592	0,823	0,969	331,928	37,361	0,941	0,974
A3	Média	540,038	29,742	0,760	0,974	374,041	35,987	0,922	0,983
A3	Superior	635,469	34,359	0,728	0,980	404,341	54,212	1,011	0,991
D19	Inferior	353,267	27,962	0,750	0,953	419,187	49,953	0,965	0,975
D19	Média	534,677	53,468	0,846	0,915	409,865	72,025	1,088	0,979
D19	Superior	767,717	75,017	0,844	0,958	468,174	108,641	1,184	0,981
Conteúdo de Magnésio (g arv <sup>-1</sup> )									
A12	Inferior	86,172	28,461	0,904	0,835	85,947	46,373	1,023	0,979
A12	Média	124,239	33,242	0,841	0,956	83,777	53,930	1,087	0,969
A12	Superior	180,003	45,136	0,827	0,978	106,024	100,443	1,123	0,977
A3	Inferior	117,507	26,585	0,823	0,969	87,053	37,351	0,941	0,974
A3	Média	141,567	29,727	0,760	0,974	98,099	35,970	0,922	0,983
A3	Superior	166,553	34,335	0,728	0,980	106,035	54,183	1,011	0,991
D19	Inferior	92,638	27,906	0,750	0,953	109,923	49,933	0,965	0,975
D19	Média	140,178	53,418	0,846	0,915	107,483	71,987	1,088	0,979
D19	Superior	201,237	74,889	0,844	0,958	122,763	108,573	1,185	0,981
Conteúdo de Enxofre (g arv <sup>-1</sup> )									
A12	Inferior	26,812	26,038	0,949	0,860	26,536	35,613	1,035	0,981
A12	Média	36,822	27,796	0,863	0,963	26,672	39,404	1,067	0,974
A12	Superior	50,816	34,134	0,823	0,981	33,276	61,979	1,050	0,980
A3	Inferior	34,055	24,363	0,873	0,974	26,931	29,389	0,959	0,976
A3	Média	40,567	25,546	0,798	0,977	30,242	27,811	0,926	0,984
A3	Superior	46,225	27,956	0,758	0,982	32,806	37,515	0,977	0,991
D19	Inferior	28,192	23,295	0,781	0,961	33,164	37,107	0,961	0,977
D19	Média	41,309	38,655	0,827	0,929	33,272	48,662	1,044	0,982
D19	Superior	57,839	46,902	0,786	0,964	37,679	66,473	1,108	0,984

a, b, c: parâmetros do modelo logístico  $y = \frac{a}{1+b \cdot e^{-cx}}$

Fonte: Autora (2021).

Tabela 36. Estimativas dos parâmetros dos modelos logístico ajustado para os conteúdos de nitrogênio, fósforo e potássio na tronco em função da idade (ano) de povoamentos de clones de teca, de diferentes classes de incremento diamétrico, em duas áreas da região de São José dos Quatros Marcos, Mato Grosso

Clone	Classe Diamétrica	Área 1				Área 2			
		a	b	c	r	a	b	c	r
Conteúdo de Nitrogênio (g arv <sup>-1</sup> )									
A12	Inferior	136,060	27,637	0,914	0,842	135,606	42,813	1,023	0,979
A12	Média	193,613	31,413	0,845	0,958	133,278	49,129	1,079	0,971
A12	Superior	276,907	41,479	0,823	0,979	167,957	87,591	1,101	0,979
A3	Inferior	183,059	25,817	0,835	0,971	137,338	34,769	0,944	0,974
A3	Média	218,275	28,355	0,769	0,975	154,570	33,341	0,921	0,983
A3	Superior	254,435	32,254	0,735	0,980	166,940	49,362	1,005	0,991
D19	Inferior	145,416	26,362	0,756	0,956	172,237	45,750	0,961	0,975
D19	Média	218,328	48,495	0,838	0,919	169,665	64,212	1,073	0,980
D19	Superior	311,823	65,094	0,824	0,960	193,287	94,217	1,161	0,982
Conteúdo de Fósforo (g arv <sup>-1</sup> )									
A12	Inferior	14,806	26,811	0,929	0,851	14,715	39,069	1,027	0,980
A12	Média	20,719	29,493	0,852	0,960	14,619	44,080	1,071	0,973
A12	Superior	29,144	37,613	0,821	0,980	18,343	74,014	1,075	0,973
A3	Inferior	19,049	25,029	0,852	0,973	14,920	31,006	0,949	0,975
A3	Média	23,089	26,886	0,782	0,976	16,766	30,502	0,922	0,984
A3	Superior	26,616	30,011	0,744	0,981	18,082	44,225	0,999	0,992
D19	Inferior	15,703	24,758	0,766	0,958	18,550	41,223	0,959	0,976
D19	Média	23,321	43,363	0,832	0,924	18,435	56,074	1,058	0,981
D19	Superior	33,034	55,339	0,803	0,962	20,937	79,633	1,135	0,983
Conteúdo de Potássio (g arv <sup>-1</sup> )									
A12	Inferior	272,379	27,535	0,915	0,843	271,432	42,364	1,023	0,980
A12	Média	386,885	31,186	0,845	0,958	267,069	48,529	1,078	0,971
A12	Superior	552,339	41,020	0,823	0,979	336,399	85,956	1,098	0,979
A3	Inferior	365,810	25,724	0,837	0,971	274,904	34,442	0,944	0,975
A3	Média	435,578	28,181	0,770	0,975	309,354	33,003	0,921	0,983
A3	Superior	507,115	31,991	0,736	0,980	335,476	47,561	0,995	0,991
D19	Inferior	290,872	26,172	0,757	0,956	344,424	45,225	0,961	0,975
D19	Média	436,221	47,882	0,827	0,920	339,624	63,244	1,072	0,980
D19	Superior	622,534	63,911	0,821	0,960	386,782	92,446	1,158	0,982

a, b, c: parâmetros do modelo logístico  $y = \frac{a}{1+b \cdot e^{-cx}}$

Fonte: Autora (2021).

Tabela 37. Estimativas dos parâmetros dos modelos logístico ajustado para os conteúdos de cálcio, magnésio e enxofre no tronco em função da idade (ano) de povoamentos de clones de teca, de diferentes classes de incremento diamétrico, em duas áreas da região de São José dos Quatros Marcos, Mato Grosso

Clone	Classe Diamétrica	Área 1				Área 2			
		a	b	c	r	a	b	c	r
Conteúdo de Cálcio (g arv <sup>-1</sup> )									
A12	Inferior	193,024	28,491	0,933	0,835	192,521	46,474	1,023	0,979
A12	Média	278,450	33,313	0,841	0,956	187,604	54,072	1,087	0,969
A12	Superior	403,710	45,292	0,827	0,978	237,310	101,285	1,125	0,978
A3	Inferior	263,364	26,615	0,823	0,969	194,991	37,436	0,941	0,974
A3	Média	317,449	29,781	0,760	0,974	219,756	36,061	0,922	0,983
A3	Superior	373,641	34,420	0,728	0,979	237,542	54,352	1,011	0,991
D19	Inferior	207,555	27,961	0,750	0,953	246,303	50,069	0,965	0,975
D19	Média	314,205	53,105	0,846	0,915	240,774	72,239	1,088	0,979
D19	Superior	451,194	75,315	0,844	0,958	275,040	109,065	1,185	0,981
Conteúdo de Magnésio (g arv <sup>-1</sup> )									
A12	Inferior	87,669	29,170	0,897	0,831	87,408	49,273	1,024	0,978
A12	Média	127,620	34,775	0,840	0,954	84,709	57,856	1,094	0,968
A12	Superior	186,718	48,238	0,831	0,977	107,423	112,059	1,141	0,977
A3	Inferior	120,798	27,230	0,815	0,968	88,570	39,445	0,940	0,973
A3	Média	146,711	30,863	0,754	0,973	99,921	38,119	0,923	0,983
A3	Superior	173,848	36,066	0,724	0,979	108,051	58,178	1,017	0,991
D19	Inferior	94,634	29,190	0,747	0,951	108,452	50,198	0,991	0,973
D19	Média	144,006	57,577	0,853	0,913	109,325	78,432	1,099	0,978
D19	Superior	207,421	83,579	0,860	0,967	125,143	120,658	1,202	0,980
Conteúdo de Enxofre (g arv <sup>-1</sup> )									
A12	Inferior	25,181	27,580	0,916	0,843	25,107	42,710	1,025	1,025
A12	Média	35,741	31,225	0,846	0,958	24,689	48,990	1,080	0,971
A12	Superior	50,947	40,998	0,824	0,979	31,068	87,040	1,102	0,979
A3	Inferior	33,801	25,743	0,838	0,971	25,426	34,681	0,946	0,974
A3	Média	40,224	28,186	0,771	0,975	28,597	33,196	0,922	0,983
A3	Superior	46,797	31,968	0,736	0,980	30,860	49,136	1,006	0,991
D19	Inferior	26,901	26,276	0,758	0,956	31,824	45,549	0,963	0,975
D19	Média	40,274	48,000	0,838	0,920	31,373	63,863	1,074	0,980
D19	Superior	57,406	63,829	0,822	0,960	35,713	93,333	1,161	0,982

a, b, c: parâmetros do modelo logístico  $y = \frac{a}{1+b*e^{-cx}}$

Fonte: Autora (2021).

Tabela 38. Estimativas dos parâmetros dos modelos logístico ajustado para os conteúdos de nitrogênio, fósforo e potássio no lenho em função da idade (ano) de povoamentos de clones de teca, de diferentes classes de incremento diamétrico, em duas áreas da região de São José dos Quatros Marcos, Mato Grosso

Clone	Classe Diamétrica	Área 1				Área 2			
		a	b	c	r	a	b	c	r
Conteúdo de Nitrogênio (g arv <sup>-1</sup> )									
A12	Inferior	104,505	27,474	0,916	0,844	104,122	42,100	1,023	0,980
A12	Média	148,273	31,049	0,846	0,958	102,527	48,164	1,077	0,971
A12	Superior	211,445	40,750	0,823	0,979	129,100	84,981	1,096	0,979
A3	Inferior	140,198	25,667	0,838	0,971	105,461	34,250	0,944	0,974
A3	Média	166,793	28,079	0,771	0,975	118,666	32,804	0,921	0,983
A3	Superior	194,042	31,835	0,736	0,980	128,136	48,382	1,003	0,991
D19	Inferior	115,401	26,056	0,758	0,956	132,057	44,901	0,961	0,975
D19	Média	167,163	47,520	0,837	0,920	130,296	62,659	1,070	0,980
D19	Superior	238,447	63,200	0,820	0,960	148,358	91,391	1,156	0,982
Conteúdo de Fósforo(g arv <sup>-1</sup> )									
A12	Inferior	9,701	26,287	0,944	0,858	9,609	36,278	1,033	0,981
A12	Média	13,372	28,069	0,860	0,963	9,636	40,292	1,067	0,974
A12	Superior	18,530	34,805	0,823	0,981	12,037	64,174	1,055	0,980
A3	Inferior	12,673	24,453	0,868	0,974	9,750	29,896	0,957	0,976
A3	Média	14,768	25,789	0,795	0,977	10,947	28,345	0,925	0,984
A3	Superior	16,865	28,339	0,753	0,982	11,789	40,499	0,997	0,992
D19	Inferior	10,214	23,611	0,778	0,961	12,028	37,930	0,961	0,977
D19	Média	15,014	39,520	0,828	0,928	12,048	50,063	1,046	0,982
D19	Superior	21,079	48,514	0,789	0,963	13,651	68,936	1,113	0,983
Conteúdo de Potássio (g arv <sup>-1</sup> )									
A12	Inferior	203,797	27,477	0,916	0,844	203,058	42,109	1,023	0,980
A12	Média	289,156	31,051	0,846	0,958	199,934	48,177	1,077	0,971
A12	Superior	412,366	40,752	0,823	0,979	251,764	85,006	1,097	0,979
A3	Inferior	273,409	25,668	0,838	0,971	205,659	34,250	0,944	0,978
A3	Média	325,281	28,080	0,771	0,975	231,411	32,808	0,921	0,983
A3	Superior	378,422	31,836	0,736	0,980	249,878	48,398	1,004	0,991
D19	Inferior	217,518	26,057	0,758	0,956	257,532	44,916	0,961	0,975
D19	Média	326,002	47,519	0,837	0,920	254,092	62,675	1,070	0,980
D19	Superior	465,003	63,214	0,820	0,960	289,319	91,411	1,156	0,982

a, b, c: parâmetros do modelo logístico  $y = \frac{a}{1+b \cdot e^{-cx}}$

Fonte: Autora (2021).

Tabela 39. Estimativas dos parâmetros dos modelos logístico ajustado para os conteúdos de cálcio, magnésio e enxofre na parte aérea em função da idade (ano) de povoamentos de clones de teca, de diferentes classes de incremento diamétrico, em duas áreas da região de São José dos Quatros Marcos, Mato Grosso

Clone	Classe Diamétrica	Área 1				Área 2			
		a	b	c	r	a	b	c	r
Conteúdo de Cálcio (g arv <sup>-1</sup> )									
A12	Inferior	72,968	27,921	0,910	0,840	72,749	44,090	1,023	0,979
A12	Média	106,348	32,072	0,843	0,957	71,275	50,859	1,008	0,970
A12	Superior	149,999	42,798	0,824	0,978	89,948	92,307	1,110	0,978
A3	Inferior	98,665	26,093	0,831	0,970	73,677	35,705	0,943	0,974
A3	Média	118,103	28,854	0,765	0,974	82,961	34,297	0,921	0,983
A3	Superior	138,158	33,011	0,732	0,980	89,631	51,105	1,007	0,991
D19	Inferior	78,159	26,916	0,754	0,955	92,641	47,265	0,962	0,975
D19	Média	117,710	50,265	0,841	0,918	91,129	66,415	1,076	0,979
D19	Superior	168,487	68,577	0,831	0,959	102,777	99,319	1,170	0,981
Conteúdo de Magnésio (g arv <sup>-1</sup> )									
A12	Inferior	56,247	29,145	0,898	0,831	56,091	49,099	1,024	0,978
A12	Média	81,843	34,688	0,840	0,954	54,372	57,626	1,094	0,968
A12	Superior	119,679	48,061	0,830	0,977	68,938	111,430	1,141	0,977
A3	Inferior	77,461	27,195	0,816	0,968	56,831	39,328	0,940	0,973
A3	Média	94,035	30,802	0,755	0,973	64,111	37,996	0,923	0,983
A3	Superior	111,390	35,972	0,724	0,979	69,329	57,936	1,017	0,991
D19	Inferior	60,704	29,118	0,747	0,951	72,114	53,146	0,968	0,975
D19	Média	92,357	57,333	0,852	0,913	70,147	78,066	1,099	0,978
D19	Superior	132,986	83,090	0,859	0,957	80,282	120,027	1,201	0,980
Conteúdo de Enxofre (g arv <sup>-1</sup> )									
A12	Inferior	21,163	27,608	0,915	0,843	21,091	42,629	1,023	0,979
A12	Média	30,090	31,311	0,845	0,968	20,737	48,906	1,079	0,971
A12	Superior	43,004	41,302	0,823	0,979	26,129	86,933	1,100	0,979
A3	Inferior	28,454	25,777	0,836	0,971	21,360	34,620	0,944	0,974
A3	Média	33,900	28,281	0,770	0,975	24,039	33,211	0,921	0,983
A3	Superior	39,509	32,143	0,735	0,980	25,963	49,154	1,005	0,991
D19	Inferior	26,066	26,288	0,757	0,956	26,778	45,553	0,961	0,975
D19	Média	33,937	48,226	0,838	0,920	26,388	63,830	1,073	0,980
D19	Superior	48,445	64,927	0,823	0,960	30,062	93,520	1,160	0,982

a, b, c: parâmetros do modelo logístico  $y = \frac{a}{1+b \cdot e^{-cx}}$

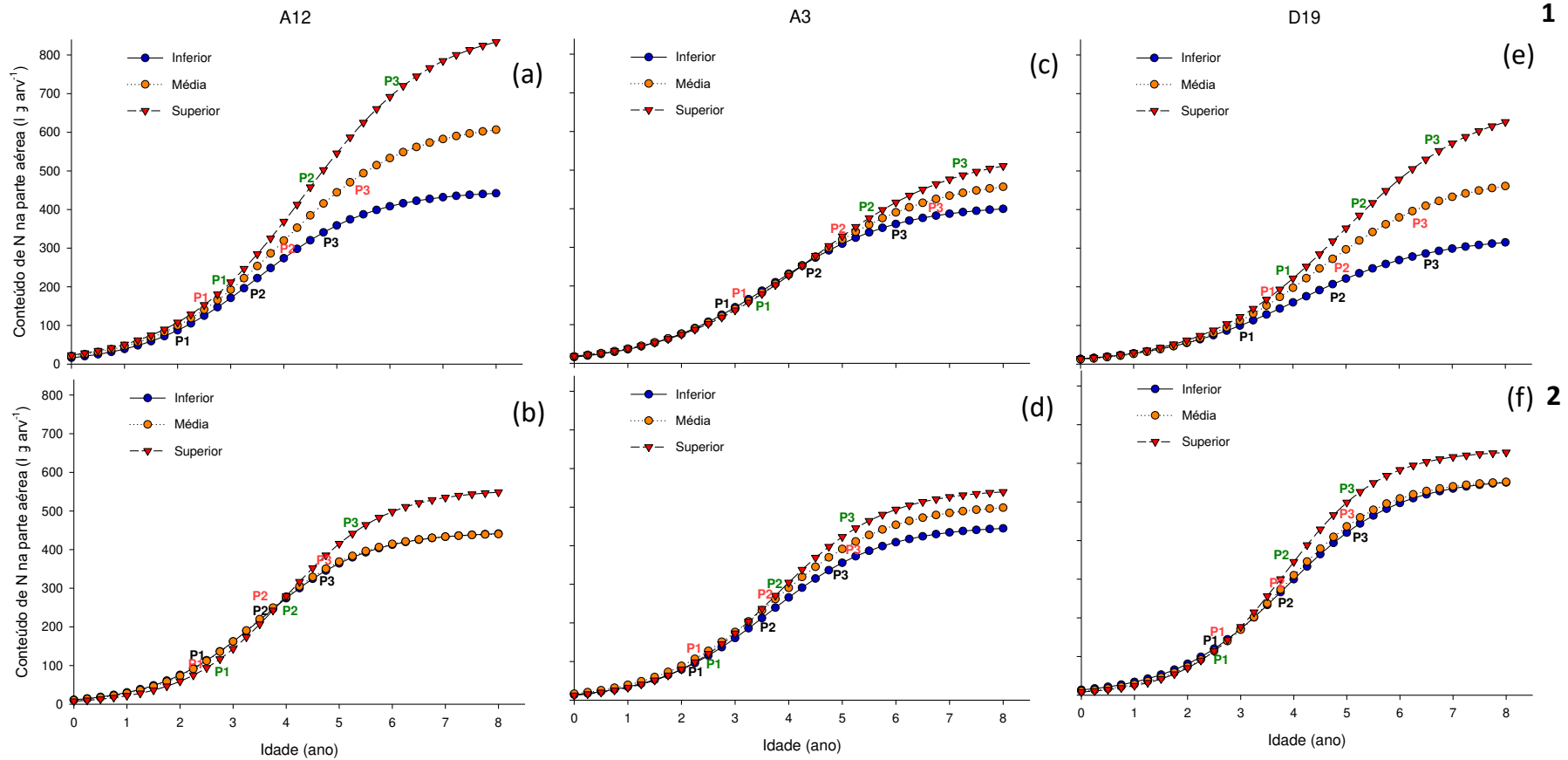
Fonte: Autora (2021).

Tabela 40: Valores de P1, P2 e P3, em ano, obtidos por derivação matemática, das curvas de acumulação de biomassa e de macronutrientes na parte aérea em função da idade de povoamentos de clones de teca, de diferentes classes de incremento diamétrico, em duas áreas da região de São José dos Quatro Marcos, Mato Grosso

Classe	Área 1									Área 2						
	Clone	Pontos	Conteúdo de nutrientes						Conteúdo de nutrientes							
			MSPA	N	P	K	Ca	Mg	S	MSPA	N	P	K	Ca	Mg	S
<b>Inferior</b>	A12	P1	2,4	2,1	2,0	2,1	2,2	2,3	2,1	2,7	2,3	1,8	2,3	2,5	2,5	2,3
		P2	3,9	3,5	3,4	3,6	3,7	3,7	3,5	3,9	3,5	3,1	3,6	3,8	3,8	3,6
		P3	5,4	4,9	4,8	5,0	5,2	5,2	4,9	5,2	4,8	4,4	4,9	5,0	5,1	4,8
	A3	P1	2,6	2,2	2,1	2,3	2,4	2,4	2,2	2,7	2,2	2,1	2,3	2,4	2,5	2,2
		P2	4,3	3,8	3,6	3,8	4,0	4,0	3,8	4,1	3,6	3,5	3,7	3,8	3,9	3,6
		P3	4,9	5,3	5,1	5,4	5,6	5,6	5,3	5,5	5,0	4,9	5,1	5,2	5,3	5,0
	D19	P1	2,4	2,4	2,3	2,5	2,7	2,7	2,5	2,9	2,5	2,4	2,5	2,7	2,7	2,5
		P2	4,2	4,2	4,0	4,2	4,4	4,5	4,2	4,2	3,9	3,7	3,9	4,1	4,1	3,9
		P3	6,0	5,9	5,7	6,0	6,2	6,2	5,9	5,6	5,2	5,1	5,3	5,4	5,4	5,2
<b>Média</b>	A12	P1	2,8	2,4	2,3	2,5	2,6	2,6	2,4	2,6	2,3	2,2	2,3	2,5	2,5	2,3
		P2	4,3	4,0	3,8	4,0	4,2	4,2	4,0	3,8	3,5	3,4	3,6	3,7	3,7	3,5
		P3	5,9	5,5	5,3	5,6	5,7	5,8	5,5	5,0	4,7	4,7	4,8	4,9	4,9	4,8
	A3	P1	3,0	2,5	2,4	2,6	2,7	2,8	2,5	2,7	2,3	2,1	2,3	2,5	2,5	2,3
		P2	4,8	4,2	4,0	4,3	4,5	4,5	4,2	4,1	3,7	3,6	3,7	3,9	3,9	3,7
		P3	6,5	5,9	5,7	6,0	6,2	6,2	5,9	5,5	5,1	5,0	5,2	5,3	5,3	5,1
	D19	P1	3,4	2,9	2,8	3,0	3,1	3,2	2,9	2,9	2,5	2,4	2,6	2,7	2,7	2,5
		P2	4,9	4,5	4,4	4,6	4,7	4,7	4,5	4,1	3,8	3,7	3,8	3,9	3,9	3,8
		P3	6,4	6,1	6,0	6,1	6,3	6,3	6,1	5,2	5,0	5,0	5,1	5,1	5,2	5,0
<b>Superior</b>	A12	P1	3,2	2,8	2,7	2,9	3,0	3,0	2,8	3,1	2,8	2,6	2,8	2,9	3,0	2,8
		P2	4,8	4,4	4,2	4,5	4,6	4,6	4,4	4,2	4,0	3,9	4,0	4,1	4,1	4,0
		P3	6,4	6,0	5,8	6,1	6,2	6,2	6,0	5,3	5,2	5,2	5,2	5,3	5,3	5,2
	A3	P1	3,7	2,8	2,6	2,8	3,0	3,1	2,8	2,8	2,5	2,3	2,5	2,6	2,7	2,5
		P2	5,2	4,5	4,3	4,6	4,9	4,9	4,5	4,1	3,8	3,7	3,8	3,9	4,0	3,8
		P3	7,0	6,3	6,1	6,4	6,7	6,7	6,3	5,4	5,1	5,0	5,1	5,3	5,3	5,1
	D19	P1	3,8	3,3	3,2	3,4	3,6	3,6	3,3	3,0	2,7	2,6	2,7	2,8	2,9	2,7
		P2	5,2	5,0	4,9	5,0	5,1	5,1	5,0	4,1	3,8	3,8	3,9	4,0	4,0	3,8
		P3	6,7	6,6	6,5	6,6	6,7	6,7	6,6	5,1	5,0	5,0	5,0	5,1	5,1	5,0

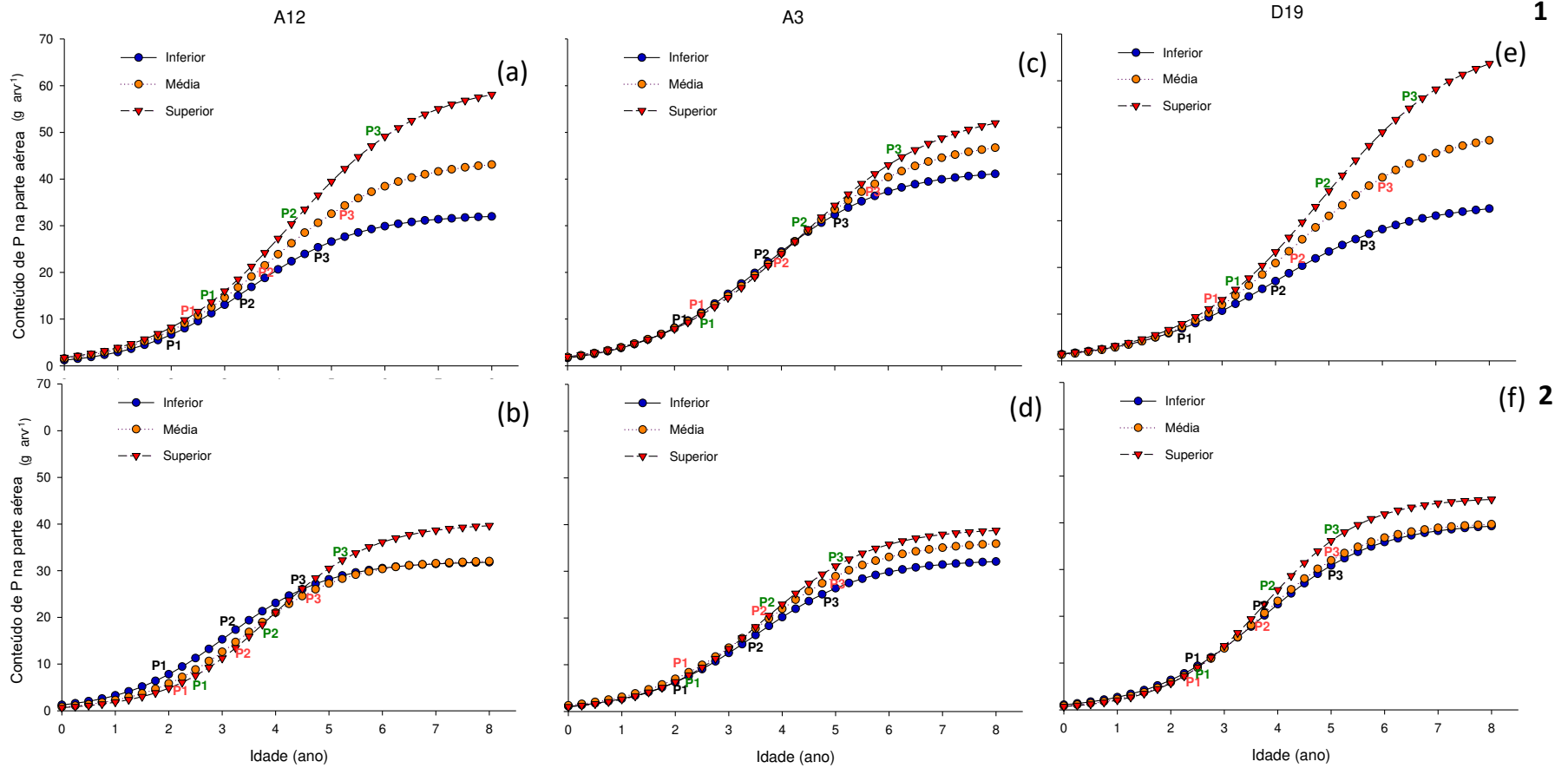
Fonte: Autora (2021).

Figura 14: Conteúdo de N na parte aérea de árvores em diferentes classes em função da idade (ano) para os diferentes clones, na área 1 (1) e 2 (2).



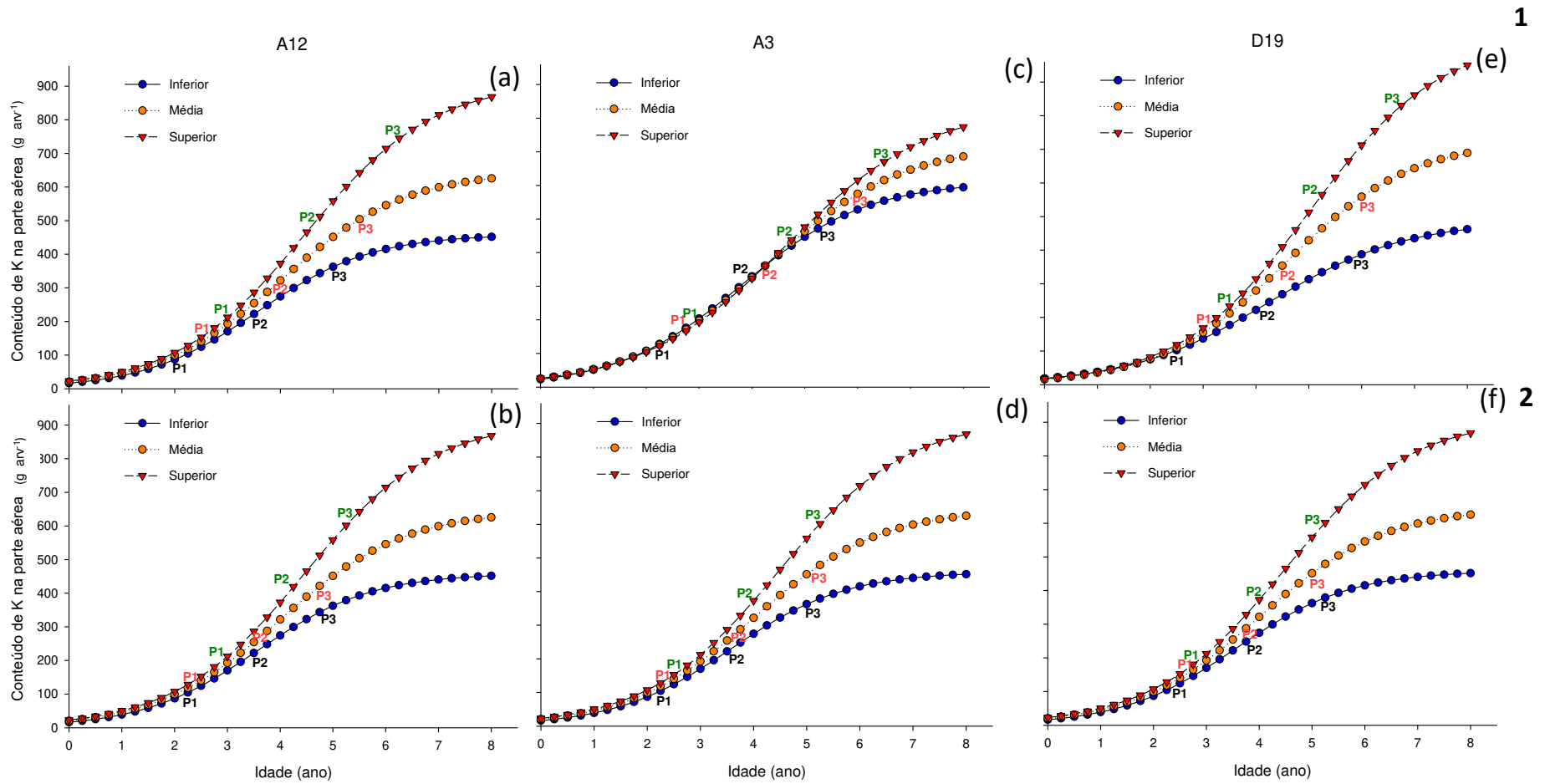
Fonte: Autora (2021).

Figura 15: Conteúdo de P na parte aérea de árvores em diferentes classes em função da idade (ano) para os diferentes clones, na área 1 (1) e 2 (2).



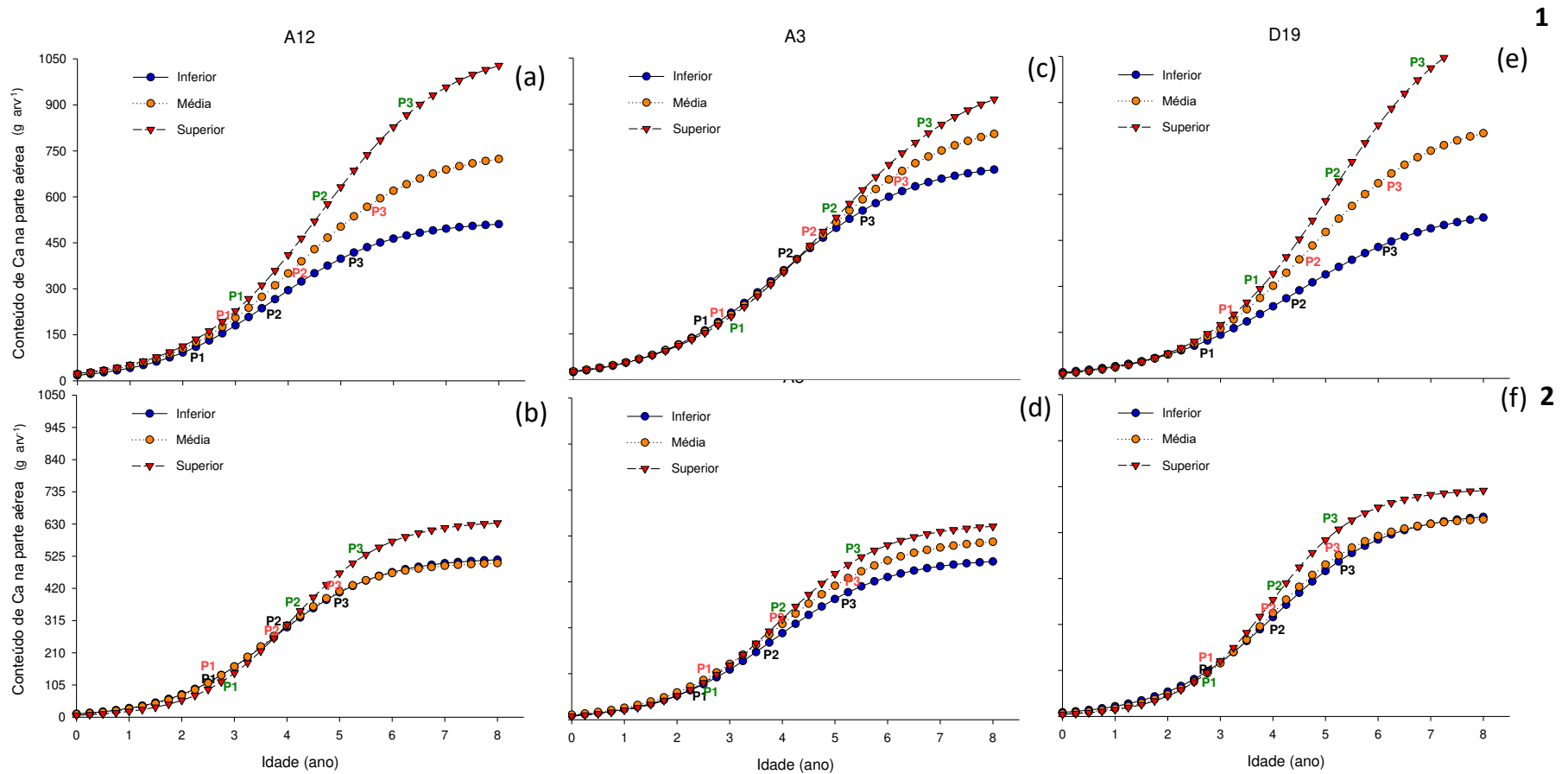
Fonte: Autora (2021).

Figura 16: Conteúdo de K na parte aérea de árvores em diferentes classes em função da idade (ano) para os diferentes clones, na área 1 (1) e 2 (2).



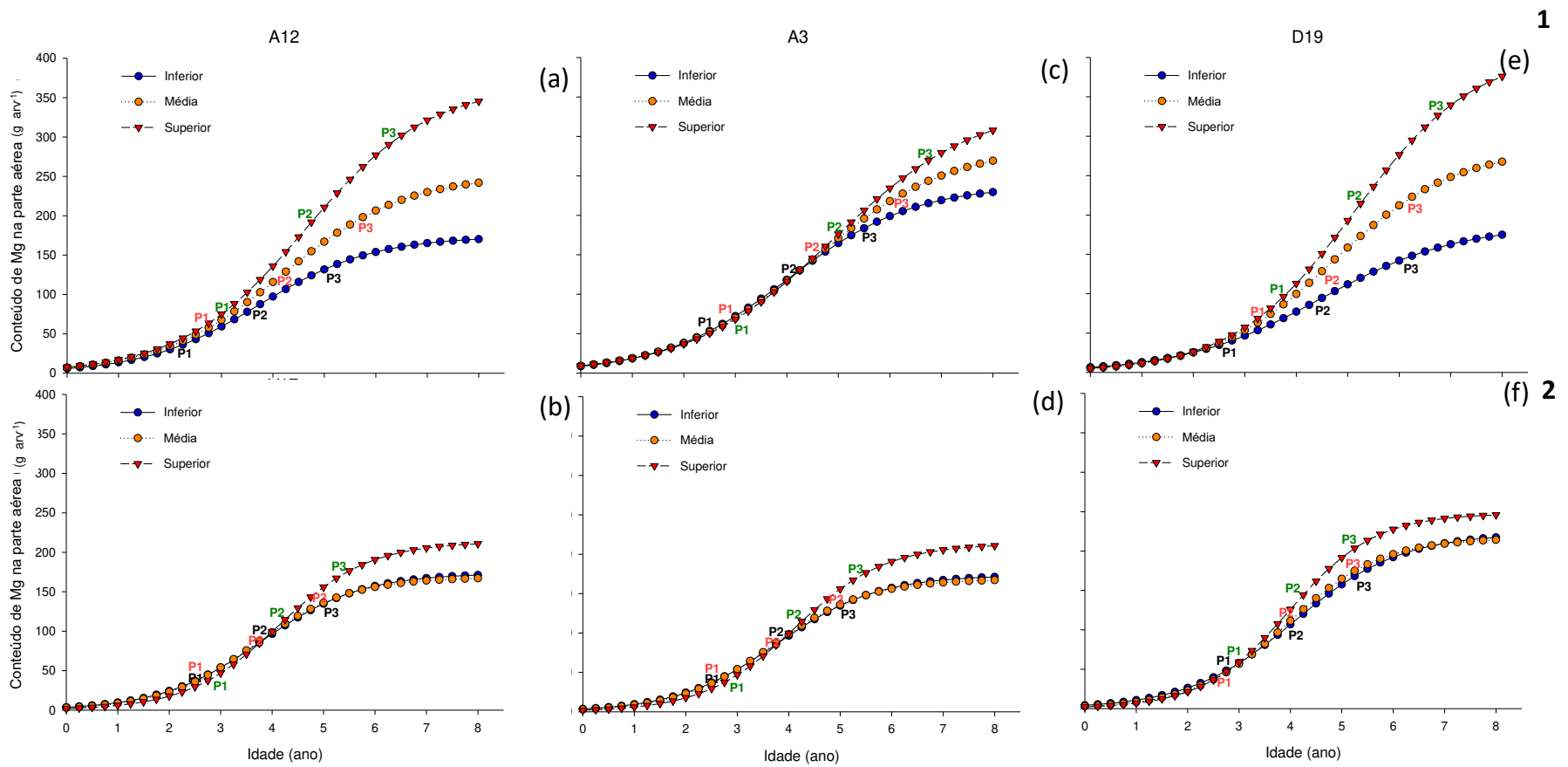
Fonte: Autora (2021).

Figura 17: Conteúdo de Ca na parte aérea de árvores em diferentes classes em função da idade (ano) para os diferentes clones, na área 1 (1) e 2 (2).



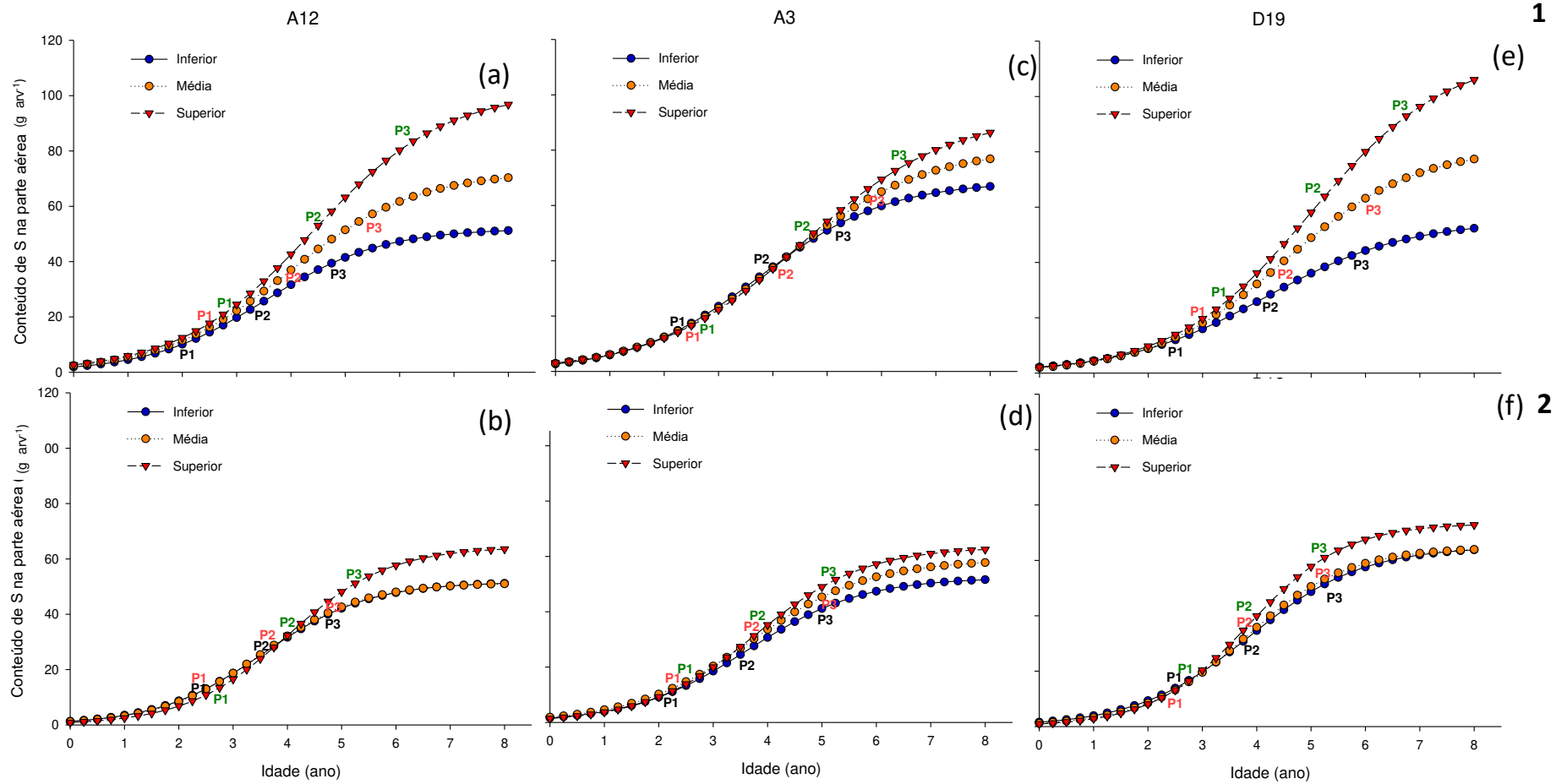
Fonte: Autora (2021).

Figura 18: Conteúdo de Mg na parte aérea de árvores em diferentes classes em função da idade (ano) para os diferentes clones, na área 1 (1) e 2 (2).



Fonte: Autora (2021).

Figura 19: Conteúdo de S na parte aérea de árvores em diferentes classes em função da idade (ano) para os diferentes clones, na área 1 (1) e 2 (2).



Fonte: Autora (2021).

Tabela 41: Valores de redução relativa do conteúdo de macronutrientes na parte aérea de povoamentos de clones de teca, entre a classes média e superior de incremento diamétrico, ao longo do crescimento (nas idades, em ano, correspondentes a P1, P2 e P3), em duas áreas da região de São José dos Quatro Marcos, Mato Grosso

Área 1							
Redução Relativa (%)							
Clone	Pontos	N	P	K	Ca	Mg	S
A12	P1	45,5	35,3	33,8	34,8	34,7	34,1
	P2	30,2	30,0	32,6	32,8	33,0	32,0
	P3	31,6	31,6	32,1	32,5	32,8	31,6
<b>Média</b>		<b>35,8</b>	<b>32,3</b>	<b>32,8</b>	<b>33,4</b>	<b>33,5</b>	<b>32,6</b>
A3	P1	26,5	15,0	19,6	20,4	20,2	18,7
	P2	15,1	9,6	18,3	18,9	19,3	17,9
	P3	16,1	16,0	17,9	18,8	18,9	17,5
<b>Média</b>		<b>19,2</b>	<b>13,5</b>	<b>18,6</b>	<b>19,4</b>	<b>19,5</b>	<b>18,0</b>
D19	P1	33,2	34,0	33,2	32,2	32,0	33,6
	P2	33,7	33,3	31,9	28,0	30,6	32,1
	P3	31,3	30,3	31,8	30,8	30,5	32,2
<b>Média</b>		<b>32,7</b>	<b>32,5</b>	<b>32,3</b>	<b>30,4</b>	<b>31,0</b>	<b>32,6</b>
Área 2							
A12	P1	25,5	19,6	23,2	20,8	20,5	23,1
	P2	23,0	23,1	20,5	19,5	18,9	21,1
	P3	21,9	21,1	20,1	18,9	18,1	20,6
<b>Média</b>		<b>23,4</b>	<b>21,3</b>	<b>21,3</b>	<b>19,7</b>	<b>19,2</b>	<b>21,6</b>
A3	P1	4,7	5,9	4,3	3,0	1,9	4,5
	P2	2,0	2,0	0,7	0,5	-0,1	1,2
	P3	1,2	0,8	0,1	-1,1	-0,1	0,3
<b>Média</b>		<b>2,7</b>	<b>2,9</b>	<b>1,7</b>	<b>0,8</b>	<b>0,6</b>	<b>2,0</b>
D19	P1	13,8	-6,1	8,2	7,1	6,1	7,3
	P2	2,2	9,4	6,4	5,6	0,6	6,2
	P3	7,4	6,8	5,8	5,1	5,3	6,0
<b>Média</b>		<b>7,8</b>	<b>3,4</b>	<b>6,8</b>	<b>5,9</b>	<b>4,0</b>	<b>6,5</b>

Fonte: Autora (2021).

### 3.5 Atributos da fertilidade do solo ao longo do crescimento de povoamentos clonais de teca

Os atributos químicos do solo das fazendas A e B avaliados logo antes da implantação dos povoamentos clonais são indicativos da alta fertilidade, exceto em relação ao P e ao K. Contudo, o monitoramento das alterações nesses atributos ao longo do tempo permite avaliar os reflexos do cultivo sobre a fertilidade do solo, contribuindo para subsidiar o manejo nutricional dos povoamentos.

Na fazenda A, as médias dos teores de matéria orgânica (M.org.) do solo (camadas de 0-20cm e de 20-40 cm) não diferem entre si ao longo do período de avaliação (na fazenda A, outubro de 2012 a maio de 2020), correlacionando-se positivamente com os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  na fazenda B: de outubro 2013 a maio de 2020, como mostrado na Tabela 42; já, na fazenda B, o teor de M.org. aumenta com a época de amostragem, Tabela 42. O teor de matéria orgânica do solo é amplamente considerado importante indicador de qualidade do solo, especialmente em solos florestais. No trabalho de Menezes (2005), o teor de M.org foi o atributo do solo que apresentou maior correlação com a produtividade de povoamentos de eucalipto.

O pH ( $\text{H}_2\text{O}$ ), nas camadas de 0-20cm e 20-40 cm, não variou ao longo do período avaliado na fazenda B, e tendeu a aumentar na fazenda A (Tabela 42), correlacionando-se significativa ( $p < 0,01$ ) e positivamente com os teores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , SB e VB. Na fazenda A, a correlação entre pH ( $\text{H}_2\text{O}$ ) e VB, para a camada de 0-20 cm, é expressa pela equação  $\text{pH} (\text{H}_2\text{O}) = 4,71 + 0,0260 \text{ VB} (\%)$ ,  $R^2 = 0,921$ ,  $n=16$ ; na fazenda B, para essa camada, é  $\text{pH} (\text{H}_2\text{O}) = 4,68 + 0,0261 \text{ VB} (\%)$ ,  $R^2=0,914$ ,  $n=28$ , portanto, a taxa de aumento de pH ( $\text{H}_2\text{O}$ ) com o aumento de VB, ou seja, 0,026 pH ( $\text{H}_2\text{O}$ ) por unidade de VB(%), não difere entre os solos das fazendas.

O teor de P, nas duas fazendas, não variou com a época de amostragem, sendo sempre maior na camada de 0-20 cm (Tabela 42).

Em relação ao teor de K, observa-se, pela Tabela 42, na fazenda A, nas camadas de 0-20 cm e de 20 – 40 cm, aumento da primeira época de amostragem, logo antes do plantio, para a segunda época, e tendência de decréscimo. Nessa fazenda, o teor de K difere entre as camadas apenas nas duas primeiras épocas de amostragem. Para esse elemento, na fazenda B, percebe-se aumentos e decréscimos, alternados, ao longo do período de avaliação, nas duas camadas.

O teor de  $\text{Ca}^{2+}$ , na fazenda A, aumentou (na camada de 0-20 cm) ou tendeu a aumentar (na camada de 20-40 cm) da primeira para a segunda época de amostragem (em 2018), a partir da qual se mantém ou tende a aumentar. Nessa fazenda, exceto para 2018, o teor de  $\text{Ca}^{2+}$  não

diferiu entre as camadas. Na fazenda B, exceto para o ano de 2019, o teor de  $\text{Ca}^{2+}$  aumenta ou tende a aumentar, e é sempre maior na camada de 0-20 cm.

O teor de  $\text{Mg}^{2+}$  aumenta na fazenda A e não varia na fazenda B entre a primeira e a segunda época de amostragem, em ambas as camadas de solo, mantendo-se até a última época de amostragem. No início e em 2018, o teor de  $\text{Mg}^{2+}$  na fazenda A é maior em 0-20 cm, e, na fazenda B, é sempre maior em 0-20 cm.

A acidez trocável foi nula como consequência do valor de  $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$  sempre superior a 5,5.

A acidez potencial ( $\text{H}+\text{Al}$ ), na fazenda A, não variou entre as épocas de amostragem, e foi maior na camada de 0-20 cm de que na de 20-40 cm, apenas nas duas primeiras épocas de amostragem. Na fazenda B,  $\text{H}+\text{Al}$  aumentou do início para a amostragem de 2018, fato compatível com o aumento de  $\text{M.org.}$ , havendo estabilização a partir daí; nessa fazenda, exceto em 2018,  $\text{H}+\text{Al}$  foi maior em 0-20 cm do que em 20-40 cm.

A soma de bases trocáveis ( $\text{SB}$ ), na fazenda A, apresenta tendência de aumentos e decréscimos que se alternam, em ambas as camadas, sendo maior em 0-20 cm do que em 20-40 cm apenas nas duas primeiras épocas de amostragem. Na fazenda B,  $\text{SB}$  é sempre maior em 0-20 cm de que em 20-40 cm, e, na camada de 0-20 cm não varia entre épocas de amostragem, e na camada de 20-40 cm aumenta, ou tende a aumentar, da primeira para as demais épocas de amostragem.

A capacidade de troca catiônica a  $\text{pH } 7$  ( $\text{CTC}$ ), nas fazendas A e B, aumentou da amostragem inicial para a segunda época, estabilizando-se a partir daí, e foi maior na camada de 0-20cm.

A saturação por bases ( $\text{VB}$ ), na fazenda A, se manteve ou tendeu a aumentar com a época de amostragem, em ambas as camadas, que não diferiram entre si. Na fazenda B, em ambas as camadas,  $\text{VB}$  alterna tendência de decréscimo, estabilização e acréscimo.

Os padrões de variação dos atributos da fertilidade do solo indicam manutenção ou melhoria com o cultivo da teca, o que é altamente positivo, e pode ser atribuído principalmente às contribuições da ciclagem bioquímica, como discutido neste trabalho (ítem 3.5, Tabela 15), e da ciclagem biogeoquímica via deposição anual de folhedo, consequente da caducifolia, e das desramas periódicas realizadas.

Tabela 42. Médias de Atributos da Fertilidade do Solo antes do plantio (início) e ao longo do período de crescimento de povoamentos clonais de teca em duas fazendas da região de São José dos Quatro Marcos, Mato Grosso.

Fazenda / camada	Época	Mat Org g/kg	pH H2O		P		K mg/dm <sup>3</sup>		Ca		Mg		Al	H + Al cmolc/dm <sup>3</sup>		SB		CTC7		VB %	
Fazenda A /0-20 cm	Início	40,98 aA	6,48	bA	3,40	aA	62,75	bA	5,05	bA	1,53	bA	0,00	3,00	aA	6,75	cA	9,70	bA	68,70	abA
Fazenda A /0-20 cm	2018	35,93 aA	6,48	bA	4,13	aA	115,08	aA	6,55	aA	2,01	aA	0,00	3,52	aA	9,54	aA	12,38	aA	69,83	abA
Fazenda A /0-20 cm	2019	33,73 aA	6,53	abA	4,63	aA	93,93	abA	5,56	abA	1,72	abA	0,00	3,32	aA	7,52	bcA	10,84	abA	68,14	bA
Fazenda A /0-20 cm	2020	39,10 aA	6,65	aA	3,93	aA	85,60	abA	6,85	aA	1,87	abA	0,00	3,08	aA	8,94	abA	12,02	aA	73,05	aA
Fazenda A /0-20 cm	<i>Média</i>	<i>37,44</i>	<i>6,53</i>		<i>4,02</i>		<i>89,34</i>		<i>6,00</i>		<i>1,78</i>		<i>0,00</i>	<i>3,23</i>		<i>8,19</i>		<i>11,23</i>		<i>69,93</i>	
Fazenda A /20-40 cm	Início	32,23 aB	6,40	bA	1,83	aB	28,75	bB	4,13	bA	1,30	bB	0,00	2,45	aB	5,50	bB	7,93	bB	68,03	bA
Fazenda A /20-40 cm	2018	39,90 aA	6,45	bA	2,43	aB	87,53	aB	5,06	abB	1,77	aB	0,00	3,13	aB	7,60	aB	10,18	aB	68,52	bA
Fazenda A /20-40 cm	2019	36,88 aA	6,50	abA	2,75	aB	80,53	aA	5,14	abA	1,63	abA	0,00	3,07	aA	6,97	abA	10,04	aA	68,18	bA
Fazenda A /20-40 cm	2020	41,90 aA	6,65	abA	2,30	aB	73,73	aA	6,33	aA	1,79	aA	0,00	2,83	aA	8,30	aA	11,13	aA	73,31	aA
Fazenda A /20-40 cm	<i>Média</i>	<i>37,73</i>	<i>6,50</i>		<i>2,33</i>		<i>67,63</i>		<i>5,16</i>		<i>1,62</i>		<i>0,00</i>	<i>2,87</i>		<i>7,09</i>		<i>9,82</i>		<i>69,51</i>	
Fazenda A (média 0-40 cm)		37,58	6,52		3,17		78,49		5,58		1,70		0,00	3,05		7,64		10,53		69,72	
Fazenda B /0-20 cm	Início	28,24 bA	6,69	aA	4,16	aA	66,00	abA	6,14	aA	1,96	aA	0,00	2,04	bA	8,26	aA	10,33	bA	79,81	aA
Fazenda B /0-20 cm	2018	32,46 abA	6,49	aA	3,96	aA	98,11	aA	7,00	aA	1,96	aA	0,00	3,74	aA	9,22	aA	12,97	aA	69,78	bA
Fazenda B /0-20 cm	2019	39,43 aA	6,46	aA	3,51	aA	52,66	bA	5,81	bA	1,75	aA	0,00	3,55	aA	7,70	aA	11,25	abA	67,20	bA
Fazenda B /0-20 cm	2020	39,49 aA	6,64	aA	4,21	aA	87,46	aA	7,21	aA	1,95	aA	0,00	3,51	aA	9,39	aA	12,90	aA	72,51	abA
Fazenda B /0-20 cm	<i>Média</i>	<i>34,90</i>	<i>6,57</i>		<i>3,96</i>		<i>76,06</i>		<i>6,54</i>		<i>1,90</i>		<i>0,00</i>	<i>3,21</i>		<i>8,64</i>		<i>11,86</i>		<i>72,33</i>	
Fazenda B /20-40 cm	Início	20,21 bB	6,67	aA	1,94	aB	43,71	cB	5,03	bB	1,64	aB	0,00	1,99	bA	6,77	bB	8,76	bB	77,19	aA
Fazenda B /20-40 cm	2018	34,04 aA	6,47	aA	2,27	aB	83,64	abA	6,46	abB	1,83	aB	0,00	3,37	aB	8,51	aB	11,88	aB	70,22	abA
Fazenda B /20-40 cm	2019	38,13 aA	6,43	aA	2,10	aB	47,04	bcA	5,43	abB	1,67	aB	0,00	3,30	aA	7,22	abB	10,51	abB	67,36	bA
Fazenda B /20-40 cm	2020	37,94 aA	6,60	aA	2,46	aB	76,49	abB	6,52	abB	1,84	aB	0,00	3,33	aA	8,56	aB	11,88	aB	71,64	abA
Fazenda B /20-40 cm	<i>Média</i>	<i>32,58</i>	<i>6,54</i>		<i>2,19</i>		<i>62,72</i>		<i>5,86</i>		<i>1,75</i>		<i>0,00</i>	<i>3,00</i>		<i>7,76</i>		<i>10,76</i>		<i>71,60</i>	
Fazenda B (média 0-40 cm)		33,74	6,56		3,08		69,39		6,20		1,82		0,00	3,10		8,20		11,31		71,96	

Início: logo antes do plantio: em outubro 2012 na fazenda A e outubro 2013 na fazenda B

Em cada fazenda, e camada de solo, médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas não diferem entre épocas, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Em cada fazenda, e época, médias seguidas pela mesma letra maiúscula, não diferem entre camadas, pelo teste F, a 5% de probabilidade.

Fonte: Autora (2021).

#### 4. CONCLUSÕES

- A produção e partição de biomassa e de macronutrientes, bem como a magnitude da ciclagem bioquímica e a eficiência de utilização não diferem entre os clones de teca A12, A3, E4 e D19, cultivados numa mesma condição de sítio;

- A contribuição da ciclagem bioquímica, em nível de folhas e lenho, foi, em média de 49,5%, para N, S, P e K, valor mais do que o dobro da observada para Mg (22,6%), contribuições de grande importância para a economia nutricional das árvores, com reflexos esperados na sustentabilidade nutricional do solo do sítio.

- Os teores de macronutrientes no lenho amostrado à altura do dap podem ser utilizados para representar os teores obtidos pela amostragem do fuste como um todo;

- Foram obtidas equações alométricas para estimar o acúmulo de biomassa e de macronutrientes em função do dap, com elevada capacidade preditiva;

- O método de análise numérica frequencial desenvolvido neste trabalho (“Método de Distribuição em Decis de volume médio individual”, MDDVMI) permite a avaliação da estrutura de povoamentos florestais, intra e entre tratamentos de manejo, tendo permitido evidenciar padrões distintos de volume médio individual de tronco (VMI) conforme o sítio e a idade de avaliação;

- Foram obtidos modelos logísticos preditivos da produção volumétrica de tronco, e das acumulações de biomassa e de macronutrientes em função da idade;

- Os modelos logísticos permite a identificação das idades de máxima aceleração e de mínima aceleração do crescimento e de acumulação de biomassa e de nutrientes (“P1” e “P3”, respectivamente), bem como de máximo incremento corrente anual (“P2”), cujos valores diferiram entre as áreas, entre os clones e entre suas populações de diferentes classes de incremento diamétrico;

- Os padrões de variação dos atributos da fertilidade do solo indicam manutenção ou melhoria com o cultivo da teca, o que é altamente positivo, e pode ser atribuído principalmente às contribuições da ciclagem bioquímica e da biogeoquímica via deposição anual de folhedo, consequente da caducifolia, e das desramas periódicas realizadas.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, C. X. de et al. Ciclagem de nutrientes em mangueira. **Semina-ciencias agrarias**, p. 259-266, 2014.
- ALVARADO, A. Nutricion y fertilizacion de la teca. **Informaciones Agronomicas**, n. 61, p. 1-8, 2006.
- ALVARES, C. A. et al. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ARAÚJO, A.P. (2000) **Eficiência vegetal de absorção e utilização de fósforo, com especial referência ao feijoeiro**. In: NOVAIS, R.F., ALVAREZ V., V.H., SCHAEFFER, C.E.G.R. (eds.) Tópicos em Ciência do Solo, vol.1, Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.163-212.
- BARROS, A. P.V. **Produção de madeira e eficiência de uso de nutrientes modelados conforme a classe de produtividade de povoamentos clonais de eucalipto**. (Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa-MG, 2021.
- BEDOYA VELÁSQUEZ, N. d. S. **Modelación calidad de sitio en plantación juvenil de Teca**. 2014. 28p. Dissertação (Mestrado Bosques y Conservación ambiental). Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Medellín, 2014.
- BEHLING, M. **Nutrição, partição de biomassa e crescimento de povoamentos de teca em Tangará da Serra-MT**. 2009. 176 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.
- CALDEIRA, M.V.W. **Quantificação da biomassa e do conteúdo de nutrientes em diferentes procedências de Acácia negra (*Acacia mearnsii* De Wild.)**. Santa Maria, RS, 1998. 96p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, 1998.
- CAMARGOS, J. L. de. **Modelagem do crescimento e produção florestal com número variável de parcelas mensuradas**. 2017. 118 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2017.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 4. ed. Viçosa: UFV, 2017. 605 p.
- CAVALCANTE, V. S. **Ciclagem bioquímica e biogeoquímica de nutrientes em teca**. 2017. 50 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017.
- CAVALCANTE, V. S., SANTOS, M. L. D., COTTA, L. C., NEVES, J. C. L., & SOARES, E. M. B. Clonal teak litter in tropical soil: decomposition, nutrient cycling, and biochemical composition. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 45, 2020.
- CERQUEIRA, C. L. et al. Modelagem da altura e volume de *Tectona grandis* L.F. na mesorregião Nordeste do Pará. **Nativa**, v. 5, 2017.

CHUYONG, G. B., NEWBERY, D. M., & SONGWE, N. C. Litter nutrients and retranslocation in a central African rain forest dominated by ectomycorrhizal trees. **New Phytologist**, 148, 493 – 510. 2000. Doi: 10.1046/j.1469-8137.2000.00774.x

CORDIDO, J.P.B.R. **Eficiências nutricionais máximas e mínimas em povoamentos de eucalipto**. 2019. 78 f.Tese (Doutorado em solos e nutrição de plantas) - Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, 2019.

CRUZ, J. P. DA et al. Modelos de crescimento e produção para plantios comerciais jovens de *Tectona grandis* em Tangará da Serra, Mato Grosso. **Revista Árvore**, v. 32, n. 5, p. 821–828, 2008.

DRESCHER, R.; GAVA, F. H.; PELISSARI, A. L.; ACOSTA, F. C.; MORAIS E SILVA, V. S. Equações volumétricas para *Tectona grandis* Linn F. em povoamentos jovens no estado de Mato Grosso. **Advances in Forestry Science**, Cuiabá, v. 1, n. 2, p. 65-70, 2014.

EPSTEIN, E; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas**. 2.ed. Londrina: Planta, v.1, 2006. 416p.

FERNÁNDEZ-MOYA, J. et al. Forest nutrition and fertilization in teak (*Tectona grandis* L.f.) plantations in Central America. **New Zealand Journal of Forestry Science**, v. 44, n. 1, p. 1-8, 2014.

FERNÁNDEZ-MOYA, J.; MURILLO, R.; PORTUGUEZ, E.; FALLAS, J. L.; RIOS, V.; KOTTMAN, F.; VERJANS, J. M.; MATA, R.; ALVARADO, A. Nutrient concentration age dynamics of teak (*Tectona grandis* L.f.) plantations in Central America. **Forest Systems**, v.22, n.1, p. 123-133, 2013.

FROMM, J. Wood formation of trees in relation to potassium and calcium nutrition. **Tree Physiology**, v. 30, n. 9, p. 1140-1147, 2010.

JEREZ-RICO, M.; COUTINHO, S. DE A. **Planted Teak Forests**. In: IUFRO WORLD SERIES (Ed.). The Global Teak Study. 24. ed. Viena, p. 49–65.

KENZO, T. et al. General estimation models for above- and below-ground biomass of teak (*Tectona grandis*) plantations in Thailand. **Forest Ecology and Management**, v. 457, p. 117701, 2020.

KUMAR, J. I. N. et al. Quantification of nutrient content in the aboveground biomass of teak plantation in a tropical dry deciduous forest of Udaipur, India. **Journal of Forest Science**, v. 55, n. 6, p. 251–256, 2009.

LOURENÇO, H.M. **Crescimento e eficiência do uso de água e nutrientes em eucalipto fertirrigado**. 2009. 145 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MALAVOLTA, E. Manual de Nutrição de Plantas. 6 ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. London: Academic, 2002. 889p.

MEDEIROS, R. A. **Potencial produtivo, manejo e experimentação em povoamentos de *Tectona grandis* Lf no Estado de Mato Grosso.** 2016. 182p. 2016. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado)–Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MENDES, A. D. R. et al. Concentração e redistribuição de nutrientes minerais nos diferentes estádios foliares de seringueira. **Acta amazônica**, v. 42, p. 525-532, 2012.

MENEZES, A.A. **Produtividade do eucalipto e sua relação com a qualidade e a classe de solo** 2005. 98p, Tese (Doutorado) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG 2005.

MIRANDA, M. C. de. **Caracterização morfológica e avaliação de desenvolvimento inicial de clones de teca (*Tectona grandis* L.f.)** 2013 80f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT. 2013.

MOTTA, A. S.; ALMEIDA, E. J.; VENDRUSCOLO, D. G.S.; MEDEIROS, R. A.; SILVA, R. S. Modelagem da Altura de *Tectona grandis* L.f Clonal e Seminal. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 34, n. 3, p. 395-406, 2016.

MOURA, P.M. **Ciclagem de biomassa e nutrientes em estádios sucessionais de Caatinga.** 2010. 100f. Tese (Doutorado Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares) – Universidade Federal de Pernambuco, PE, 2010.

MOYA, R. et al. A review of heartwood properties of *Tectona grandis* trees from fast-growth plantations. **Wood Science and Technology**, v.48, n.2, p.411-433, 2014.

MURILLO, R.; ALVARADO, A.; VERJANS, J. M. Concentración Y Acumulación De Nutrimientos En La Biomasa Aérea De Plantaciones De Teca De 3 A 18 Años En La Cuenca Del Canal De Panamá. **Agronomía Costarricense**, v. 39, n. 3, p. 117–136, 2015.

NEVES, J. C. L. **Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e hídricos em plantios clonais de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo.** 2000,202f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), Campos dos Goitacazes, 2000.

NOGUEIRA, G. S. et al. Avaliação de um modelo de distribuição diamétrica ajustado para povoamentos de *Tectona grandis* submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, v. 30, n. 3, p. 377–387, jun. 2006.

OLA-ADAMS, B. A. Effects of spacing on biomass distribution and nutrient content of *Tectona grandis* Linn. f. (teak) and *Terminalia superba* Engl. & Diels. (afara) in south-western Nigeria. **Forest Ecology and Management**, v. 58, n. 3–4, p. 299–319, 1993.

OLIVEIRA, J. R. V. **Sistema para cálculo de balanço nutricional e recomendação decalagem e adubação de povoamentos de teca-Nutriteca.** 2003. 76p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

OUNBAN, W.; PUANGCHIT, L.; DILOKSUMPUN, S. Development of general biomass allometric equations for *Tectona grandis* Linn.f. and *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. plantations in Thailand. **Agriculture and Natural Resources**, v. 50, n. 1, p. 48–53, jan. 2016.

PASSOS, C. A. M.; BUFULIN JUNIOR, L.; GONÇALVES, M. R. Avaliação silvicultural de *Tectona grandis* L.f., em Cáceres – MT, Brasil: resultados preliminares. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 2, p. 225, 30 jun. 2006.

PELLISSARI, A. L. et al. Cultivo da teca: características da espécie para implantação e condução de povoamentos florestais. **Agrarian academy**, Centro Científico Conhecer, v. 1, n. 01, p. 127–145, 2014.

PELLISSARI, A. L.; CALDEIRA, S. F.; SANTOS, V. S.; SANTOS, J. O. P. Correlação especial dos atributos químicos do solo com o desenvolvimento da teca em Mato Grosso. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 71, p. 247-256, 2012.

PELLISSARI, A. L.; CALDEIRA, S. F.; SANTOS, V. S.; SANTOS. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo em povoamento de *Tectona grandis*. **Cerne**, v. 20, n. 3, p.377- 384, 2014.

PONTES, M. S. **Parametrização do modelo 3-PG para teca (*Tectona grandis* L.f) e dos sistemas FERTI-UFV e NUTRI-UFV para subsidiar o seu manejo nutricional**. 2011. 79p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG: 79p

PORTUGUEZ, E. **Estimación de la extracción de nutrimentos por parte aérea en plantaciones de teca (*Tectona grandis* Linn. f.) de las empresas Panamerican Woods y C&M Investment Group Ltda., en la península de Nicoya, Guanacaste, Costa Rica**. 2012. 72f. Universidad de Costa Rica, 2012.

ROSSI, A. S.; DRESCHER, R.; PELLISSARI, A. L.; LANSSANOVA, L. R. Relação hipsométrica e crescimento de *Tectona grandis* L.f. no município de Monte Dourado, Pará. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 91, p. 301-307. 2011.

SANTANA, R.C.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. Biomass and nutrient content of provenances of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus saligna* on different sites of São Paulo State. **Scientia forestalis**, n. 56, p. 155-169, dez. 1999.

SANTORO, K. R.; BARBOSA, S. B. P.; BRASIL, L. H.A.; SANTOS, E. S. Estimativas de Parâmetros de Curvas de Crescimento de Bovinos Zebu, Criados no Estado de Pernambuco. **Revista brasileira de zootecnia**. v.34, n.6, p. 2262-2279, 2005.

SANTOS, M. L. Dos et al. Relação altura-diâmetro para um povoamento clonal jovem de *Tectona grandis* Linn F. na Amazônia oriental, Brasil. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 10, p. 74981–74996, 2020.

SANTOS, M. L. dos. **Partição de biomassa e nutrientes em plantios clonais e seminais de Teca**. 2015, 60f. Dissertação (Mestrado Solos e Nutrição de Plantas. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2015.

SANTOS, M., RODRIGUES, R., SANTOS, C. R., COSTA, B., & BARROS, W. Crescimento em diâmetro e altura dominante em plantios clonais de *Tectona grandis* linn f. sob dois espaçamentos. **Enciclopédia biosfera**, v. 15, n. 28, 2018.

SARAVANAN, S. Nutrient Use Efficiency in Eucalyptus clones. **Journal of Stress Physiology & Biochemistry**, v. 15, n. 4, p. 5–14, 2019.

SCHUMACHER, M. V.; WITSCHORECK, R.; CALIL, F. N. Biomassa em povoamentos de eucalyptus spp. de pequenas propriedades rurais em Vera Cruz, RS. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 1, p. 17–22, 2011.

SHIMIZU, J. Y.; KLEIN, H.; OLIVEIRA, J. R. V. DE. **Diagnóstico das Plantações Florestais em Mato Grosso**. Cuiabá: Central de Texto, 2007. 63 p.

SIDDIQUI, M. Y.; GLASS, A. D. M. Utilization Index: a Modified Approach to the Estimation and Comparison of Nutrient Utilization Efficiency in Plants. **Journal of Plant Nutrition**, v.4: 289-302-1981.

SILVA, L.F.C. **Necessidade de adubação pós-desbaste, baseada no balanço nutricional de povoamentos de eucalipto**. 1999, 62f. Tese (Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa –MG, 1999.

TONINI, H. et al. Crescimento da Teca (*Tectona grandis*) em Reflorestamento na Amazônia Setentrional. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 1, p. 5–14, 2009.

VALADARES, S. V. **Modelagem da Aquisição de Fósforo e da Eficiência Nutricional de Eucalipto**. 2015, 102f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas), Universidade Federal Viçosa, Viçosa – MG, 2015. 102 p.

VALADARES, S. V. et al. Predicting phosphorus use efficiency and allocation in eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 460, p. 117859, 2020.

VARGAS, G. R. et al. Ciclagem de biomassa e nutrientes em plantios florestais. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, 11: 111-123, 2018.

VENDRUSCOLO, D. G. S.; SILVA, R. S.; SOUZA, H. S.; CHAVES, A. G. S.; MOTTA, A. S. Modelos volumétricos para teca em diferentes espaçamentos em Cáceres, Mato Grosso. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 10, n. 19, p. 1333-1341, 2014.