

REGINALDO ANTONIO MEDEIROS

**POTENCIAL PRODUTIVO, MANEJO E EXPERIMENTAÇÃO EM
POVOAMENTOS DE *Tectona grandis* L.f. NO ESTADO DE MATO GROSSO**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2016

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

M488p
2016

Medeiros, Reginaldo Antonio, 1976-
Potencial produtivo, manejo, e experimentação em
povoamentos de *Tectona grandis* no Estado de Mato Grosso /
Reginaldo Antonio Medeiros. – Viçosa, MG, 2016.
xiv,182f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexos.

Inclui apêndices.

Orientador: Haroldo Nogueira de Paiva.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. *Tectona grandis*. 2. Teca (Árvore). 3. Teca (Árvore) -
Crescimento. 4. Teca (Árvore) - Desenvolvimento.
5. Povoamento florestal - Mato Grosso. 6. Desbaste florestal.
7. Planejamento experimental. I. Universidade Federal de
Viçosa. Departamento de Engenharia Florestal. Programa de
Pós-graduação em Ciência Florestal. II. Título.


CDD 22 ed. 634.9841

REGINALDO ANTONIO MEDEIROS

**POTENCIAL PRODUTIVO, MANEJO E EXPERIMENTAÇÃO EM
POVOAMENTOS DE *Tectona grandis* L. f. NO ESTADO DE MATO GROSSO**

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

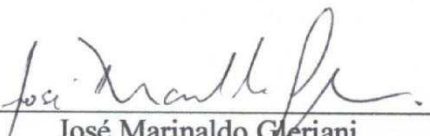
Aprovada em: 29 de julho de 2016.



Gilciano Saraiva Nogueira




Júlio César Lima Neves



José Marinaldo Gleriani



Helio Garcia Leite
(Coorientador)



Haroldo Nogueira de Paiva
(Orientador)

*“O Homem sábio é aquele que vai além, levando consigo o tudo de bom,
conhecimentos mil, família feliz e amizade mundo afora.*

O Homem sábio é aquele que mesmo com problemas está a sorrir diante de todas as
situações.

O Homem sábio é aquele que sabe dar de si o conhecimento básico por um mundo
melhor”.

Chiquinho da Floresta, 30 de junho de 2016, 08:00h.

A minha esposa
Claudiana Garcia Medeiros

Aos meus filhos
Sofia Garcia Medeiros
Maísa Garcia Medeiros
Lucas Garcia Medeiros

Aos Meus pais
Antônio Medeiros de Araújo
Maria José Duarte Medeiros

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, o grande Criador do Universo que tantos enigmas deixastes para que nós tentássemos desvendá-los. Agradeço pela vida e benções.

À Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Departamento de Engenharia Florestal, pela oportunidade concedida.

Ao Instituto Federal de Mato Grosso campus Cáceres - Prof. Olegário Baldo (IFMT), instituição que orgulhosamente faço parte, pela oportunidade de capacitação concedida.

À Fundação de Amparo a Pesquisa de Mato Grosso – FAPEMAT, pela concessão de bolsa de estudos.

Ao Prof. Haroldo Nogueira de Paiva, pela orientação, amizade, aprendizado, exemplo de pessoa e profissional, liberdade de expressão e por acreditar no nosso projeto de estudos.

Ao Prof. Helio Garcia Leite, pela orientação, amizade, aprendizado, exemplo de pessoa e profissional.

À secretaria de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Florestal, em especial a Rita, Alexandre e Dilson, pela competência na gestão, apoio e informações.

À banca examinadora, Professores Gilciano Saraiva Nogueira, Júlio César Lima Neves, José Marinaldo Gleiriani, Alexandre Rosa dos Santos e Daniel Henrique Breda Binoti, pelas correções, sugestões e análise crítica.

Aos professores desta e de outras instituições Carlos Pedro Boechat, Márcio Lopes, Silvio Nolasco, Júlio César Neves, Sebastião Venâncio, João Ker, Igor Assis, Rubens Rondon Neto, Antonio Tsukamoto Filho, Ronaldo Drescher, Andressa Flores, Fábio Nolasco, Maria Cristina Albuquerque, Carlos Passos (in memoriam) e Olegário Baldo (in memoriam) pelo apoio e incentivo.

Ao Chiquinho da Floresta e Sr. Antonio, pela amizade, competência e dedicação ao trabalho, em nome dos quais agradeço todos os servidores e colaboradores da UFV.

Aos amigos e colegas de trabalho do IFMT campus Cáceres – Prof. Olegário Baldo, em nome do Diretor Prof. Milson Evaldo Serafim, agradeço aos professores, servidores administrativos e demais colaboradores, pelo apoio, incentivo e amizade.

Aos alunos e ex-alunos do IFMT e UNEMAT pelo apoio, incentivo e amizade.

À Associação dos Reflorestadores de Mato Grosso (AREFLORESTA) e a Secretaria de Estado de Planejamento de Mato Grosso (SEPLAN-MT) pelo apoio e colaboração.

À Luit Smit (Tectona Agroflorestal), Sylvio Coutinho (Floresteca), Antonio Passos (Bacaeri Florestal), Haroldo Klein (KLM Reflorestadora), Flávio Davila (Companhia Vale do Araguaia - CVA), Evandro Trevisan (Teca do Brasil) pelo apoio e colaboração.

Aos Engenheiros Florestais Fausto Takizawa, Cibeles Kotusubo pelo apoio e colaboração.

Ao amigo Erolino (Erô) pela amizade e apoio durante a coleta de dados.

Ao Prof. Nelson Santos Silva, em nome do qual agradeço a todos os meus professores que me levaram a este êxito.

Aos meus pais Antônio Medeiros de Araújo e Maria José Duarte Medeiros, pelo apoio, carinho, compreensão, enfim, por tudo que sou.

Aos meus irmãos, Ronaldo, Leonardo, Alessandro, Ricardo, Leone, Leandro, Juliana e Renato Medeiros, pelo apoio, carinho e amor fraterno.

Aos sobrinhos, Walter Vinícius, Luana, Leonardo, Izabelly, Amanda, Rafael, Antonio, Júlia e Otávio pelo carinho e amor. Tio Régi ama vocês.

As cunhadas(as) João Paulo, Gustavo, Vanuza, Valquíria, Raquel, Silvana e Leila, pelo carinho e apoio.

De modo especial agradeço a Elenice de Oliveira Medeiros (in memoriam), pela sua fé, força espiritual, carinho e apoio. Obrigado Nice.

Aos meus sogros Dejair e Marilúcia pelo carinho, apoio e incentivo.

Aos avós biológicos (in memoriam) Leontina e Clarindo, Floriscena e José Medeiros e aqueles adotivos, Pio e Maria (in memoriam), José Felício (in memoriam) e Maria Rodrigues e Maria das Neves (in memoriam).

À minha família em geral e amigos de longa data, muito obrigado pelo apoio e incentivo.

Aos amigos da Pós-Graduação Álvaro, Gustavo, Erlon, Batuira, Carlos Araújo, Adriana, Yorleny, Ricardo, Eliane, Antônio, Kely, Brígida, Eliana, Guilherme (Pexe), Guilherme Silvério, Guilherme, Natália, Daniel, Lineker, Marquinhos, Carlinhos, Gláucio, Fardin, Diogo, Thiago, Caio, Alexandre, Crismeire, Livia, Léo, Pâmela, Ronan, Aline, Estênio, Fábio, Aridiano, Júlio Deuvaux,..., pela colaboração e amizade ao longo desses quatro anos.

À Paróquia São João Batista e ao Padre Walter Jorge Pinto por fortalecer nossa Fé e Espírito e apascentar sentimentos aflitos.

Às demais pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, cujo nome aqui não se encontra, muito obrigado.

À Viçosa, que com carinho acolheu a mim e a minha família e pelas amizades edificadas.

Finalmente, não menos importante, muito pelo contrário, agradeço de modo especial, a minha esposa Claudiana Garcia Medeiros e aos meus filhos Sofia, Maísa e Lucas Garcia Medeiros, pelo carinho, amor e, sobretudo paciência. Peço desculpas pelos momentos ausentes e impaciência, porém, certo de que o que fiz foi por vocês, por nós. O mérito também é de vocês. Amo muito. Obrigado.

Minha gratidão e meu reconhecimento a todos VOCÊS, MUITO OBRIGADO!

BIOGRAFIA DO AUTOR

REGINALDO ANTONIO MEDEIROS, filho de Antônio Medeiros de Araújo e Maria José Duarte Medeiros, 3º filho de nove irmãos, nasceu em 14 de março de 1976, em Patos de Minas-MG.

Iniciou seus estudos em 1983, na Escola Zoraida Mendonça Pinheiro, no distrito de Sertãozinho, município de Patos de Minas-MG. Em meados de 1984 a família Duarte Medeiros migra-se para Figueirópolis D'Oeste-MT, onde continua seus estudos na Escola Estadual Dr. José Gentil da Silva até a 4ª série, concluindo a 8ª série na Escola Estadual Barão de Melgaço em 1990.

Em 1991 iniciou, e veio a concluir em 1993 o curso Técnico em Agropecuária integrado ao ensino médio na Escola Agrotécnica Federal de Cáceres, hoje, Instituto Federal de Mato Grosso, campus Cáceres-Prof. Olegário Baldo (IFMT).

No ano de 1994 iniciou-se a graduação em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Mato Grosso, em Cuiabá-MT, vindo a concluir em 1998.

Em 1999 concluiu especialização em Ciência e Tecnologia de Sementes pela ABEAS/UFPel e, em 2002 em Uso dos Recursos Naturais e Seus Reflexos no Meio pela ABEAS/UFV.

Em março de 2003 iniciou Pós-Graduação em Agricultura Tropical – Mestrado, na Universidade Federal de Mato Grosso, em Cuiabá-MT, vindo a concluir em agosto de 2004.

Nos anos de 1999, 2000, 2002 e 2006 atuou como professor na Escola Agrotécnica Federal de Cáceres, hoje, IFMT. No período de 2002 a 2006 foi professor da Universidade do Estado de Mato Grosso, Departamento de Agronomia em Cáceres-MT e Departamento de Engenharia Florestal em Alta Floresta-MT.

Entre os anos de 2001 e 2006 também atuou como profissional autônomo nas áreas de manejo de florestas nativas, licenciamento ambiental, silvicultura e topografia.

Em 2007 efetivou-se na Escola Agrotécnica Federal de Cáceres, em Cáceres-MT, hoje IFMT, onde atua até hoje.

Em novembro de 2012, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, em nível de doutorado, na área de Silvicultura, na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, submetendo-se à defesa de tese em 29 de julho de 2016.

SUMÁRIO

RESUMO	xi
ABSTRACT	xiii
INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	4
CAPÍTULO I: POTENCIAL PRODUTIVO DA TECA NO ESTADO DE MATO GROSSO	6
RESUMO	6
ABSTRACT	8
1 INTRODUÇÃO	9
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	12
2.1 Caracterização da área de estudo	12
2.2 Potencial produtivo: zoneamento climático.....	13
2.2.1 Espacialização das variáveis climáticas.....	13
2.2.2 Reclassificação das variáveis climáticas	16
2.2.3 Elaboração do zoneamento climático	18
2.3 Potencial produtivo: zoneamento edáfico.....	20
2.3.1 Espacialização das variáveis edáficas.....	20
2.3.2 Reclassificação das variáveis edáficas	22
2.3.3 Elaboração do zoneamento edáfico	24
2.4 Potencial produtivo: zoneamento fisiográfico	25
2.4.1 Espacialização das variáveis fisiográficas	25
2.4.2 Reclassificação das variáveis fisiográficas	26
2.4.3 Elaboração do zoneamento fisiográfico.....	27
2.5 Potencial produtivo: zoneamento climático+edáfico+fisiográfico	27
2.6 Potencial produtivo: modelagem	29
3 RESULTADOS	32
3.1 Potencial produtivo: zoneamento climático.....	32
3.2 Potencial produtivo: zoneamento edáfico.....	38
3.3 Potencial produtivo: zoneamento fisiográfico	42
3.4 Potencial produtivo: zoneamento climático+edáfico+fisiográfico	45
3.5 Potencial produtivo: modelagem	49
4 DISCUSSÃO	55
4.1 Potencial produtivo: zoneamento.....	55
4.2 Potencial produtivo: modelagem	66
5 CONCLUSÕES	69
6 AGRADECIMENTOS.....	69
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70
APÊNDICE	78

CAPÍTULO II: CRESCIMENTO, PRODUÇÃO E IDADE TÉCNICA PARA O PRIMEIRO DESBASTE DE POVOAMENTOS DE TECA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS E ARRANJOS ESPACIAIS	81
RESUMO	81
ABSTRACT	82
1 INTRODUÇÃO	83
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	85
2.1 Localização, descrição da área experimental e coleta dos dados.....	85
2.2 Crescimento e produção	87
2.3 Determinação da idade técnica de desbaste.....	88
3 RESULTADOS	90
3.1 Crescimento e produção	90
3.2 Determinação da idade técnica de desbaste.....	102
4 DISCUSSÃO	115
4.1 Crescimento e produção	115
4.2 Determinação da idade técnica de desbaste.....	117
5 CONCLUSÕES	119
6 AGRADECIMENTOS.....	120
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	120
ANEXOS.....	124
CAPÍTULO III: PLANEJAMENTO, INSTALAÇÃO, CONDUÇÃO E AVALIAÇÃO DE EXPERIMENTOS COM TECA	126
RESUMO	126
ABSTRACT	127
1 INTRODUÇÃO	128
2 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL.....	130
2.1 Tipo de experimento.....	131
2.2 Levantamento e definição de problemas de pesquisa	131
2.3 Objetivos, hipóteses e revisão de literatura	132
2.4 Local de instalação do experimento	132
2.5 Tratamentos	132
2.6 Delineamento experimental.....	133
2.7 Tamanho e forma das parcelas.....	133
2.8 Bordadura	135
2.9 Repetição	135
2.10 Croqui	136
2.11 Acesso e marcação da parcela.....	136
2.12 Medição e características mensuradas.....	137
2.13 Capacitação da equipe envolvida	140

2.14	Condução e manutenção do experimento	140
2.15	Registro das atividades	140
2.16	Interação entre os fatores em estudo	141
3	PROJETO DE PESQUISA	141
3.1	Finalidade	141
3.2	Estrutura do projeto de pesquisa	142
3.2.1	Identificação	142
3.2.2	Título	142
3.2.3	Equipe de pesquisadores e colaboradores.....	142
3.2.4	Resumo	142
3.2.5	Justificativa	142
3.2.6	Objetivos e metas	143
3.2.7	Hipóteses.....	143
3.2.8	Revisão de literatura	144
3.2.9	Material e métodos	144
3.2.10	Resultados esperados	145
3.2.11	Cronograma de execução ou plano de atividades	145
3.2.12	Orçamento.....	145
3.2.13	Cronograma de desembolso	145
3.2.14	Outras informações.....	145
3.2.15	Referências bibliográficas.....	146
3.2.16	Apêndices e anexos	146
3.3	Análise de projetos de pesquisa	146
3.4	Ética e boas práticas em pesquisa	147
4	SUGESTÃO DE EXPERIMENTOS	147
4.1	Diretrizes para experimentos envolvendo testes de procedências	147
4.2	Diretrizes para experimentos envolvendo espaçamentos	150
4.3	Diretrizes para experimentos envolvendo métodos de preparo do solo	151
4.4	Diretrizes para experimentos envolvendo fertilização	153
4.5	Diretrizes para experimentos envolvendo controle da matocompetição	155
4.6	Diretrizes para experimentos envolvendo desrama artificial.....	156
4.7	Diretrizes para experimentos envolvendo desbaste	158
5	INSTALAÇÃO DE EXPERIMENTOS	160
5.1	Aspectos gerais	160
5.2	Local para realização de pesquisas	161
5.3	Experimentos em áreas sem povoamentos florestais	161
5.3.1	Escolha e caracterização do local.....	161
5.3.2	Sistematização do terreno	162
5.3.3	Insumos e mudas	163

5.3.4 Plantio	164
5.3.5 Tratos culturais	164
5.4 Experimentos em povoamentos comerciais.....	164
5.5 Tamanho do experimento	165
5.6 Tamanho e forma de parcelas	165
5.7 Coleta dos dados	167
5.8 Consistência dos dados.....	168
6 ANÁLISE DE DADOS.....	168
6.1 Análise de variância e teste de médias	170
6.1.1 Análise de variância (anova).....	170
6.1.2 Teste de médias	171
6.2 Modelagem	171
6.2.1 Tipos de modelos.....	173
6.2.2 Avaliação de modelos.....	175
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	176
CONSIDERAÇÕES FINAIS	182

RESUMO

MEDEIROS, Reginaldo Antonio, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2016. **Potencial produtivo, manejo e experimentação em povoamentos de *Tectona grandis* L.f. no Estado de Mato Grosso**. Orientador: Haroldo Nogueira de Paiva. Coorientador: Helio Garcia Leite

Os objetivos deste trabalho foram conhecer o potencial produtivo de *Tectona grandis* L.f. (teca) no Estado de Mato Grosso, avaliar o crescimento e a produção, identificar a idade técnica de desbaste (ITD) em povoamentos de teca em diferentes espaçamentos e arranjos e, propor metodologias com diretrizes para planejamento, implantação, coleta e análise de dados de experimentos a campo envolvendo teste de procedências, espaçamentos, preparo do solo, fertilização, controle da matocompetição, desrama e desbaste. O potencial produtivo foi avaliado com base no zoneamento climático, edáfico, fisiográfico e edáfico+climático+fisiográfico, elaborado com o emprego de Processo Analítico Hierárquico (AHP), e na modelagem, utilizando Redes Neurais Artificiais (RNA). O crescimento, a produção e a ITD foram avaliados utilizando dados provenientes de experimentos com teca envolvendo 12 espaçamentos e arranjos espaciais, no município de Água Boa-MT. Utilizou-se o modelo de Gompertz para modelagem do crescimento e produção, a função Weibull para modelagem da distribuição de diâmetros (MDD) e a ITD foi identificada pelo método dos ingressos percentuais (MIP), empregando o modelo expolinear. Fatores climáticos restringem menos o cultivo da teca no Estado de Mato Grosso, se comparado aos fisiográficos e, principalmente, edáficos, que limitam o potencial produtivo no Estado. O zoneamento com base na metodologia da AHP é adequado para definir classes de aptidão da teca. RNA foram eficientes para expressar o potencial produtivo apenas para locais onde há dados observados de produtividade. A altura total das árvores foi pouco influenciada pelos espaçamentos e arranjos, ao passo que o diâmetro médio, área basal e volumes individuais foram superiores nos maiores espaçamentos. A estagnação do crescimento ocorreu mais cedo nos espaçamentos mais adensados. A cultura da teca ainda carece de informações técnicas e científicas sobre a silvicultura da espécie envolvendo exigências climáticas, edáficas e fisiográficas, além de regimes de manejo apropriados. Estas informações são importantes, pois diminuem o empirismo na aplicação de práticas silviculturais e na escolha de locais para plantio, que têm sido apontados como responsáveis pelos baixos índices de produtividade da cultura no Estado de Mato Grosso. Ao realizar pesquisas envolvendo estes e outros objetivos, de modo a produzir

resultados confiáveis e com nível científico desejado, é preciso que as informações das variáveis estudadas sejam provenientes de experimentos planejados, consistentes e analisadas por meio de métodos estatísticos adequados.

ABSTRACT

MEDEIROS, Reginaldo Antonio, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July of 2016. **Productive potential, management and experimentation in stands of *Tectona grandis* L.f. in the State of Mato Grosso.** Adviser: Haroldo Nogueira de Paiva. Co-Adviser: Helio Garcia Leite.

The objectives of this study were: to assess the productive potential of *Tectona grandis* L. f. (teak) in the State of Mato Grosso, Brazil; to evaluate the growth and yield, and to identify the technical age of thinning (TAT) in teak stands in different spacings and arrangements; and to propose methodologies with guidelines for the planning, installation, conduction and evaluation of teak field experiments involving provenance trials, spacings soil preparation, fertilization, weed control, pruning and thinning. The productive potential was evaluated based on climatic, edaphic, physiographic and combined climatic+edaphic+physiographic zonings, produced with Analytic Hierarchy Process (AHP), and based on modeling using Artificial Neural Networks (ANN). The growth of production and TAT was assessed using data from experiments involving 12 spacings and spatial arrangements in the municipality of Água Boa, Mato Grosso, Brazil. We used the Gompertz function to model growth and yield, the Weibull function was used for the diameter distribution modeling (DDM) and the TTA was determined through the Method of the Percent Entries (MPE), using the expolinear function. Climatic factors are less restrictive to the cultivation of teak compared to physiographic and, mainly, edaphic factors, which were shown to constrain the productive potential of this species in the state of Mato Grosso. The zoning based on AHP methodology was appropriate to set suitability classes for the cultivation of teak. RNA were efficient to express the productive potential only for areas where there is observed productivity data. The total tree height was little influenced by the spacing and arrangement, while the average diameter, basal area and individual volumes were greater in the widest spacings. The stagnation of growth occurred earlier in the narrowest spacings. The culture of teak still lacks technical and scientific information about silviculture, involving climatic, soil and physiographic requirements, and about appropriate management regimes. This information is important because it reduces the empiricism in applying silvicultural practices and the choice of sites for planting, which have been identified as responsible for the low productivity of this culture in the state of Mato Grosso. When conducting research involving these and other objectives, in order to produce reliable results and desired scientific level, it is necessary that the

information of the variables come from consistent and planned experiments, analyzed using appropriate statistical methods.

INTRODUÇÃO GERAL

Teca (*Tectona grandis* L.f.), espécie que pertence à família botânica Lamiaceae (ex Verbenaceae), nativa das florestas tropicais do Sudeste Asiático (Índia, Myanmar, Tailândia e Laos) é uma das principais espécies florestais cultivadas no mundo, com área plantada, em 2015, de 6,887 milhões de hectares (MIDGLEY et al., 2015). Na Ásia encontram-se 88% desse total, com destaque para Índia (2,561 milhões de hectares) e Indonésia (1,470 milhões hectares), 8 % na África e 4 % na América Latina, onde o Brasil possui maior área plantada, 87.499 ha (IBÁ, 2015).

No Brasil, os primeiros plantios experimentais foram realizados em 1968 pela Cáceres Florestal, que desenvolvia um programa de pesquisa com espécies madeireiras promissoras para plantio na região. Em escala comercial, os plantios iniciaram em 1971, com sementes oriundas de Trinidad e Tobago (CÁCERES FLORESTAL, 2006). Segundo Golfari et al. (1978), naquela ocasião, a área plantada era de 267 ha e o desenvolvimento inicial da cultura foi considerado excelente, devido ao clima da região, que apresentava características favoráveis ao seu crescimento, como, precipitação variando de 1200 a 1500 mm e período seco. Essas características, segundo Higuchi (1979) citado por Matricardi (1989) e Ângelo et al. (2009) possibilitaram uma boa adaptação da teca às condições edafoclimáticas de Mato Grosso, que possui, atualmente, a maior área plantada.

No entanto, apesar dos crescentes níveis de produtividade das plantações florestais no Brasil nas últimas décadas, decorrentes de avanços científicos e tecnológicos em diversas áreas, como, uso de genótipos adequados ao ambiente, aplicação criteriosa de fertilizantes, controle integrado de plantas invasoras, pragas e doenças, retenção de resíduos vegetais, minimização do preparo do solo e regimes ótimos de manejo (GONÇALVES et al., 2015), para a cultura da teca ainda há carência de informações importantes sobre a silvicultura da espécie.

O empirismo na aplicação de práticas silviculturais, escolha de locais inadequados e materiais genéticos impróprios têm sido apontados como responsáveis pelos baixos índices de produtividade da cultura da teca (TONINI et al., 2009). Além disso, o monitoramento do crescimento e produção das plantações, em muitos casos, é realizado com base em observações de campo, experiências e conhecimentos do administrador florestal ou, com base em dados de inventários que não seguem os princípios básicos de um inventário florestal e da experimentação, como por exemplo, tamanho de parcela, intensidade de amostragem, casualização, repetição e controle local (CAMPOS; LEITE, 2013).

Estudos relacionados às características edáficas, climáticas e fisiográficas além da silvicultura da espécie, como, zoneamento edafoclimático e testes de procedências, deveriam ser os primeiros passos a serem adotados na implantação de um povoamento florestal, a fim de conhecer o potencial produtivo local e a possibilidade de adaptação do material genético (GOLFARI, 1975). De acordo com Golfari et al. (1978), o clima condiciona a possibilidade de adaptação e de cultivo de uma espécie, procedência ou clone, enquanto o solo regula o nível de produção. Contudo, estudos científicos que apontem o potencial produtivo da teca, com base em informações edafoclimáticas e fisiográficas para o Estado de Mato Grosso são pontuais e incipientes.

O uso de geotecnologias, que envolve vários sistemas, tem-se mostrado eficiente em estudos que envolvem muitas variáveis ambientais e suas relações complexas (ORTIZ et al., 2006), como em estudos sobre o potencial produtivo. Estes sistemas, aliados a técnicas como o zoneamento (OMETTO, 1981; SANTOS et al., 2015; SOARES et al., 2015) e Redes Neurais Artificiais (RNA) (ALCÂNTARA, 2015) permitem a delimitação de regiões aptas, restritas ou inaptas ao estabelecimento de culturas, por meio da avaliação de diferentes fatores (climáticos, edáficos, fisiográficos, variáveis dendrométricas). Mais do que isso, são instrumento de orientação e suporte técnico para tomada de decisão na medida em que fornecem informações que podem auxiliar no planejamento e na implantação de empreendimentos florestais.

Além da escolha de sítios apropriados ao cultivo da teca, na implantação de povoamentos florestais a definição do espaçamento inicial de plantio é uma das etapas mais importantes. Sua escolha definirá o espaço de crescimento das árvores e influenciará nas taxas de crescimento e produção, qualidade da madeira produzida, regime de desbaste e desrama, forma do tronco e copa, sobrevivência, idade de corte, custos e rendimentos operacionais nas operações de implantação, manutenção e colheita (BALLONI; SIMÕES, 1980; PASSOS et al., 2006; PAIVA et al., 2011; SILVA, 2011).

Especificamente, a definição do regime ótimo de desbastes, evidenciando o tipo, época, técnica e peso, são fundamentais na composição do plano de manejo de povoamentos florestais (PAIVA; LEITE, 2015). Atualmente, com os recursos da informática e softwares específicos, a modelagem do crescimento e produção dos povoamentos tem se tornado uma rotina nas empresas florestais e subsidiado decisões previstas nos planos de manejo.

Os modelos de distribuição de diâmetro (MDD) têm sido utilizados para monitoramento detalhado do crescimento e da produção, da estrutura diamétrica de povoamentos florestais e na definição da idade técnica de desbaste (CAMPOS;

TURNBULL, 1981; CAMPOS; LEITE, 2013), sendo que esta idade tem sido definida pela estagnação do crescimento (LEITE et al., 2008). Apesar disso, o modelo não é capaz de identificar a idade exata em que a estagnação do crescimento acontece. Para sanar esta deficiência, Garcia (1999) utilizou um modelo exponencial justaposto a um modelo linear simples, conforme Goudriaan (1994) e propôs o Método dos Ingressos Percentuais (MIP) para determinar a idade exata em que os ingressos de indivíduos em novas classes não sejam mais significativos, o que caracteriza a idade técnica de desbaste. Posteriormente, Nogueira et al. (2001) comprovaram a eficiência do método.

Para que estudos envolvendo estes e outros objetivos sejam realizados, de forma que seus resultados sejam confiáveis e satisfaçam o nível científico desejado, é preciso que as informações qualitativas e quantitativas das variáveis estudadas sejam consistentes, provenientes de experimentos previamente planejados e analisados por meio de métodos estatísticos adequados (GARCIA; LEITE, 2006; BANZATTO; KRONKA, 2008).

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivos conhecer o potencial produtivo da teca no Estado de Mato Grosso, avaliar o crescimento, a produção e identificar a idade técnica de desbaste (ITD) em povoamentos de teca em diferentes espaçamentos e arranjos e, propor metodologias com diretrizes para planejamento, implantação, coleta e análise de dados de experimentos a campo envolvendo teste de procedências, espaçamentos, preparo do solo, fertilização, controle da matocompetição, desrama e desbaste.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCÂNTARA, A. E. M. **Redes neurais artificiais para prognose do crescimento e da produção de povoamentos de eucalipto em Minas Gerais**. 2015. 92 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. 2015.
- ÂNGELO, H.; SILVA, V. S. M.; SOUZA, Á. N.; GATTO, A. C. Aspectos financeiros da produção de teca no estado de Mato Grosso. **Floresta**, v. 39, n. 1, p. 23–32, 2009.
- BALLONI, E. A.; SIMÕES, J. W. O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais. **IPEF**, v. 1, n. 3, p. 1–16, 1980.
- BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2008. 237 p.
- CÁCERES FLORESTAL. **Manual do cultivo da teca**. Cáceres-MT, 2006. 32 p.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 4. ed. Viçosa-MG: UFV, 2013. 407 p.
- CAMPOS, J. C. C.; TURNBULL, K. J. Um sistema para estimar produção por classe de diâmetro e sua aplicação na interpretação do efeito de desbaste. **Revista Árvore**, v. 5, n. 1, p. 1–16, 1981.
- GARCIA, S. L. R. **Ingresso Percentil: teoria e aplicações em ciência florestal**. 1999. 20 p. (não publicado).
- GARCIA, S. L. R.; LEITE, H. G. **Curso de estatística experimental**. Viçosa-MG, 2006. 411 p. (não publicado).
- GOLFARI, L. **Zoneamento ecológico do estado de Minas Gerais para reflorestamento**. Belo Horizonte: PNUD/FAO/IBDF/PRODEPEF, 1975. 65 p.
- GOLFARI, L.; CASER, R. L.; MOURA, V. P. G. **Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil**. 2. ed. Belo Horizonte: PNUD/FAO/IBDF/PRODEPEF, 1978. 66 p.
- GONÇALVES, J. L. M.; ALVARES, C. A.; SOUZA, A. H. B. N. S.; ARTHUR JUNIOR, J. C. Caracterização edafoclimática e manejo de solos das áreas com plantações de eucalipto. In: SCHUMACHER, M. V.; VIEIRA, M. (Ed.). **Silvicultura do eucalipto no Brasil**. Santa Maria: Editora UFSM, 2015. p. 113–155.
- GOUDRIAAN, J. Using the expolinear growth equation to analyse resource capture. In: MONTEITH, J. L.; SCOTT, R. K.; UNSWORTH, M. H. (Ed.). **Resource capture by crops**. Nottingham: Nottingham University Press, 1994. p. 99–110.
- IBÁ. **Indústria Brasileira de Árvores**. São Paulo, 2015. 77 p.
- LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; DIAS, A. N.; MONTE, M. A. Uso da mensuração florestal em pesquisa e em manejo de povoamentos submetidos a desbaste. In: SEMINÁRIO SOBRE SILVICULTURA EM FLORESTAS PLANTADAS, 3., 2008, Viçosa. **Anais...** Viçosa-MG: SIF/DEF/UFV, 2008. p.77-114.
- MATRICARDI, W. A. T. **Efeitos dos fatores de solo sobre o desenvolvimento da teca (Tectona grandis L.f.) cultivada na grande Cáceres - Mato Grosso**. 1989.135 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Quiróz", Piracicaba-SP. 1989.

- MIDGLEY, S.; SOMAIYA, R. T.; STEVENS, P. R.; BROWN, A.; KIEN, N. D.; LAITY, R. **Planted teak: global production and markets, with reference to Solomon Islands**. Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR), 2015. 93 p.
- NOGUEIRA, G. S.; LEITE, H. G.; CAMPOS, J. C. C.; SOUZA, A. L.; COUTO, L. Determinação da idade técnica de desbaste em plantações de eucalipto utilizando o método dos ingressos percentuais. **Scientia Forestalis**, n. 59, p. 51–59, 2001.
- OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Ceres, 1981. 435 p.
- ORTIZ, J. L.; VETTORAZZI, C. A.; COUTO, H. T. Z.; GONÇALVES, J. L. M. Relações espaciais entre o potencial produtivo de um povoamento de eucalipto e atributos do solo e do relevo. **Scientia Forestalis**, n. 72, p. 67–79, 2006.
- PAIVA, H. N.; JACOVINE, L. A. G.; TRINDADE, C.; RIBEIRO, G. T. **Cultivo de eucalipto: implantação e manejo**. 2. ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2011. 354 p.
- PAIVA, H. N.; LEITE, H. G. Desbastes e desramas em povoamentos de Eucalyptus. In: SCHUMACHER, M. V.; VIERA, M. (Ed.). **Silvicultura do eucalipto no Brasil**. Santa Maria: Editora UFSM, 2015. p. 83–112.
- 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. 225–232, 2006.
- SANTOS, A. R.; RIBEIRO, C. A. A. S.; SEDIYAMA, G. C.; PELUZIO, J. B. E.; PEZZOPANE, J. E. M.; BRAGANÇA, R. **Zoneamento agroclimático no arcgis 10.3.1 passo a passo**. Alegre: CAUFES, 2015. 58 p.
- SILVA, J. C. **Eucalipto: manual prático do fazendeiro florestal: produzindo madeira com qualidade**. 3. ed. Viçosa: Arka, 2011. 106 p.
- SOARES, R. V.; BATISTA, A. C.; TETTO, A. F. **Meteorologia e climatologia florestal**. Curitiba: Os Autores, 2015. 215 p.
- TONINI, H.; COSTA, M. C. G.; SCWENGBER, L. A. M. Crescimento da teca (*Tectona grandis*) em reflorestamento na Amazônia Setentrional. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 59, p. 5–14, 2009.

CAPÍTULO I

POTENCIAL PRODUTIVO DA TECA NO ESTADO DE MATO GROSSO

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo conhecer o potencial produtivo da teca no Estado de Mato Grosso, de acordo com características climáticas, edáficas e fisiográficas. Para isto foi utilizado o zoneamento climático, edáfico, fisiográfico e climático+edáfico+fisiográfico, baseado no Processo Analítico Hierárquico (AHP) e a modelagem, utilizando Redes Neurais Artificiais (RNA). Para o zoneamento, a área territorial do Estado foi dividida em classes de aptidão, sendo, apta, apta com restrição, restrita e inapta. Para a modelagem foram consideradas as classes de maior, menor e média produtividade. Os dados climáticos foram obtidos em Xavier et al. (2015), os edáficos disponibilizados pela Secretaria de Estado de Planejamento de Mato Grosso, os fisiográficos extraídos de modelos digitais de elevação da SRTM (Shuttle Radar Topograph Mission) e os dados de produtividade (volume com casca), na idade de 12 anos, foram disponibilizados por empresas que cultivam teca no Estado de Mato Grosso. Os dados foram editados e processados no software ArcGIS 10.1. O zoneamento climático indicou que 70% da área territorial do Estado de Mato Grosso é apta ou apta com restrição, ao cultivo da teca, e 30% restrita ou inapta. Para o zoneamento edáfico os percentuais foram de 61 e 39 % e para o fisiográfico 55 e 45%, respectivamente para classe apta ou apta com restrição e restrita ou inapta. O zoneamento climático+edáfico+fisiográfico indicou que 12% da área territorial é apta, 51% apta com restrição, 16% restrita e 21% inapta. O potencial produtivo apontado pela modelagem (RNA) indicou que 18% da área territorial apresenta maior capacidade produtiva, ao passo que 20% tem menor e 62% intermediária capacidade produtiva. Fatores climáticos restringem menos o cultivo da teca no Estado de Mato Grosso, se comparado aos fisiográficos e, principalmente, aos edáficos, que são mais restritivos. O zoneamento com base na metodologia da AHP é adequado para definir classes de aptidão para o cultivo da teca. As RNA foram eficientes para expressar o potencial produtivo apenas para locais onde há dados observados de produtividade. Para identificar o potencial produtivo por RNA há necessidade de um banco de dados representativo das condições ambientais para estimativas mais precisas no treinamento e generalização. São necessários estudos mais específicos envolvendo análise do efeito

individual e das interações entre variáveis ambientais sobre a produtividade da teca, em uma rotação completa.

PRODUCTIVE POTENTIAL OF TEAK IN MATO GROSSO STATE

ABSTRACT

This study aimed to assess the productive potential of *Tectona grandis* stands related to climatic, edaphic and physiographic characteristics in the state of Mato Grosso, Brazil. For this we used the zoning (climatic, edaphic, physiographic and a combined climatic+edaphic+physiographic zoning) based on Analytic Hierarchy Process (AHP), in which the land area of the entire state of Mato Grosso was divided into the suitability classes: suitable, suitable with restrictions, restricted and unsuitable. Next, by the use of modeling with Artificial Neural Networks (RNA) we generated a productivity zoning considering the classes of high, intermediate and low productivity. The climatic data were obtained from Xavier et al. (2015), the edaphic data provided by the Secretariat for Planning of the State of Mato Grosso, the physiographic data were extracted from digital elevation models of the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM-NASA) and the productivity data (overbark stem volume), at 12 years old, were provided by companies that cultivate teak in the state of Mato Grosso. The data were edited and processed in the software ArcGIS 10.1. The climatic zoning indicated that 70% of the land area of the state of Mato Grosso is suitable or suitable with moderate restrictions to the cultivation of teak and 30% of the land are restricted or unsuitable. For edaphic zoning, the percentages were 61% and 39% and for the physiographic zoning, 55% and 45%, respectively, for the combined classes “suitable” and “suitable with restrictions”, and the combined classes “restricted” and “unsuitable”. The climatic+edaphic+physiographic zoning indicated that 12% of the land area is suitable, 51% suitable with restrictions, 16% restricted and 21% unsuitable. The productive potential resulted from the RNA modeling indicated that 18% of the land area has potential for high productive capacity, whereas 20% is low and 62% intermediate. Climatic factors restrict the cultivation of teak in the state of Mato Grosso less than physiographic and, mainly, edaphic factors that are more restrictive. The zoning based on AHP methodology is appropriate to define suitability classes for the culture of teak. The RNA were efficient to express the productive potential only for areas where there were observed data of productivity. To assess the productive potential with RNA, a representative database of environmental conditions is needed for more accurate estimates in the training and generalization. More specific studies are necessary involving the individual effect of environmental variables and also interactions between them over the productivity of teak in a complete rotation.

1 INTRODUÇÃO

A escolha de locais inadequados, além de material genético e aplicação de práticas silviculturais equivocadas, têm sido apontados como fatores responsáveis pelas baixas produtividades da cultura da teca em alguns locais do Brasil e da América Central (TONINI et al., 2009).

De acordo com Golfari (1975), estudos relacionados às características edáficas, climáticas e fisiográficas além da silvicultura da espécie, como, zoneamento edafoclimático e testes de procedências, devem ser os primeiros passos a serem adotados na implantação de um povoamento florestal, a fim de conhecer o potencial produtivo local e a possibilidade de adaptação da espécie, procedência ou clone.

Potencial produtivo de um local é a capacidade que um determinado local possui de produzir madeira e, ou, outros produtos, para um determinado genótipo (CAMPOS; LEITE, 2013). Por outro lado, o potencial produtivo de um determinado genótipo está diretamente relacionado com a escolha de locais que apresentem características, principalmente, climáticas e edáficas, que atendam às suas exigências ecológicas (CAMARGO et al., 2003; FAO, 2009). O clima condiciona a possibilidade de adaptação e de cultivo, enquanto o solo regula o nível de produção (GOLFARI et al., 1978).

O local tem um papel crítico na produtividade, sendo necessário definir critérios para a escolha de locais visando implantação de povoamentos de teca (ENTERS, 2000). A classificação de terras, que envolve o conhecimento da espécie, sua localização, tipos e características de solos e relevo são fundamentais para entender a dinâmica de crescimento dos povoamentos (CAMPOS; LEITE, 2013).

Contudo, estudos científicos que apontem o potencial produtivo da teca, com base em informações edáficas, climáticas e fisiográficas para o Estado de Mato Grosso são pontuais e incipientes. Em muitos casos, a escolha do local para plantio tem sido empírica, o que pode levar a baixas produtividades (LEITE et al., 2006).

Os sistemas de suporte à decisão que incorporam o potencial produtivo do local são imprescindíveis na escolha de locais apropriados (sites) ao cultivo de espécies florestais (DIAS et al., 2005). O uso de geotecnologias como, sistemas de informações geográficas (SIG), sensoriamento remoto e ferramentas de análise espacial (estatística espacial e geoestatística), tem-se mostrado eficientes em estudos que envolvem muitas variáveis ambientais e suas relações (ORTIZ et al., 2006).

O zoneamento é uma técnica que possibilita identificar o potencial produtivo de determinado local ou região visando o cultivo de um genótipo. Esta técnica permite a

delimitação de regiões aptas, restritas ou inaptas ao estabelecimento da cultura ou genótipo, por meio da avaliação de diferentes temas, como, fatores climáticos e edáficos (zoneamento edafoclimático ou agroclimático), de forma a potencializar seu desenvolvimento e produtividade (OMETTO, 1981; SANTOS et al., 2015; SOARES et al., 2015). É também um instrumento de orientação e suporte técnico para tomada de decisão (LUPPI, 2014) por fornecer informações ao planejamento e implantação de empreendimentos florestais.

Dependendo da sua categoria (climático, edafoclimático, agroclimático), o zoneamento consiste no levantamento dos fatores que definem a aptidão e na delimitação de faixas representativas das exigências climáticas, edáficas e fisiográficas de uma determinada cultura. Em seguida faz-se a espacialização e a reclassificação espacial das variáveis ambientais da região, com base nas exigências da cultura e elabora-se o mapa de zoneamento (PEREIRA et al., 2002; SANTOS et al., 2015).

Na área florestal é comum estudos dessa natureza a fim de verificar o potencial produtivo ou aptidão local, em diferentes escalas, para diferentes genótipos, como por exemplo, eucaliptos (CARPANEZZI et al., 1988; FLORES et al., 2009; FRANCELINO et al., 2012; FARDIN et al., 2015; SPERANDIO et al., 2015), pinus (CARPANEZZI et al., 1988; CASTRO et al., 2010a), seringueira (RUFINO, 1986; PILAU et al., 2007) entre outras espécies florestais (CARPANEZZI et al., 1988; CARMO et al., 2003; NAPPO et al., 2005; ARAÚJO et al., 2012; KLIPPEL et al., 2013; GASPARINI et al., 2015). Contudo, no Brasil, para a cultura da teca, além de poucos estudos (NAPPO et al., 2005; KLIPPEL et al., 2013, 2015; KREITLOW et al., 2014) o número variáveis ambientais envolvidas nas pesquisas tem sido pequeno.

Alcântara (2015) propôs uma metodologia para avaliar o potencial produtivo de povoamentos de eucaliptos para o Estado de Minas Gerais, considerando variáveis dendrométricas, edáficas, climáticas e fisiográficas. Essa metodologia baseia-se no treino e aplicação de redes neurais artificiais (RNA) para projeção do crescimento, produção e produtividade de povoamentos equiâneos, gerando mapas de produtividade. De acordo com a autora o emprego de RNA resultou em maior detalhamento e exatidão da produtividade para eucalipto no Estado de Minas Gerais, quando comparado com mapas de produtividade obtidos com modelos processuais. Para Martins et al. (2015) a facilidade de inclusão de variáveis qualitativas, como aquelas que retratam condições ambientais, pode ser uma boa opção para modelagem com restrições no banco de dados.

Uma RNA é uma rede de neurônios artificiais, constituído por um sistema computacional, com neurônios dispostos em uma ou mais camadas (paralelismo) e

interligados entre si por um grande número de conexões, formando a rede (sistema), com função específica para desempenhar uma determinada tarefa (BRAGA et al., 2000; HAYKIN, 2001; BULLINARIA, 2015).

Na área florestal, diversas pesquisas envolvendo RNA tem demonstrado que a técnica é eficiente para prognose do crescimento e da produção de eucalipto (SILVA BINOTI, 2010; ALCÂNTARA, 2015; MARTINS et al., 2015; SILVA BINOTI et al., 2015).

Apesar do Estado de Mato Grosso ter a maior área plantada com teca no Brasil, cerca de 65.000 ha em 2012 (FAMATO, 2013), não há um zoneamento que considere o reflexo de fatores climáticos, edáficos e fisiográficos sobre o potencial produtivo desta cultura.

Quanto à essas exigências, a teca apresenta máximo crescimento e produção em clima tropical quente e úmido, com verão chuvoso e inverno seco. É uma espécie pioneira, intolerante a sombra e muito exigente em luz. A temperatura média anual deve variar de 22 a 27°C, sendo que temperaturas acima de 40°C e abaixo de 6°C podem interferir no crescimento e produção (KAOSA-ARD, 1989; RONDON NETO et al., 1998; MIDGLEY et al., 2015).

A precipitação pluviométrica média anual deve ser de 1.200 a 2.500 mm com uma estação seca acentuada de 3-5 meses (KAOSA-ARD, 1989; CÁCERES FLORESTAL, 2006), com precipitação inferior a 50 mm por mês (KEOGH, 1987; KAOSA-ARD, 1995; RONDON NETO et al., 1998). Porém, mais importante que o índice pluviométrico é a distribuição, que deve ser regular, uma vez que esta não tolera deficiências ou excessos hídricos extremos (MATRICARDI, 1989).

A altitude favorável ao seu crescimento e produção varia de 200 a 400 m (RONDON NETO et al., 1998), mas, em áreas de ocorrência natural é encontrada em altitudes superiores a 700 m (LAMPRECHT, 1990). A teca se desenvolve melhor nas partes mais baixas de relevos ondulados, que apresentam solos mais férteis, drenados e profundos (ARIAS, 2013) e nas exposições norte e leste, que recebem maior incidência de radiação solar e e apresentam maior amplitude térmica (MOTA, 1986; DIAS; COELHO NETTO, 2011).

O solo deve ser profundo, bem drenado e arejado, textura média, com predominância de areia sobre argila e estrutura granular e em blocos subangular. O cultivo deve ser evitado em solos adensados, compactados, muito úmidos ou secos e rasos (MATRICARDI, 1989; LAMPRECHT, 1990; WEAVER, 1993; RONDON NETO et al., 1998; PANDEY; BROWN, 2000; CÁCERES FLORESTAL, 2006; FAO,

2009; ALVARADO; MATA, 2013; ARIAS, 2013; PELISSARI et al., 2014; MIDGLEY et al., 2015).

Este trabalho teve como objetivo conhecer o potencial produtivo da teca no Estado de Mato Grosso, de acordo com características climáticas, edáficas e fisiográficas, com a finalidade de identificar locais apropriados ao cultivo, visando otimizar a produção e melhorar os índices de produtividade.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área de estudo

Os dados para este trabalho são do Estado de Mato Grosso, localizado na região Centro-Oeste do Brasil, entre as coordenadas 06°00' e 19°45' de latitude Sul e 50°06' e 62°45' de longitude Oeste, no centro geodésico da América do Sul. Limita-se ao norte com os Estados do Pará e Amazonas, ao sul com Mato Grosso do Sul, a leste com Goiás e Tocantins e, a oeste com Rondônia e a República da Bolívia. Possui uma área territorial de 903.357,908 km² (Figura 1).

O estado compreende três dos principais biomas brasileiros (Cerrado, Pantanal e Amazônia) e três importantes bacias hidrográficas (Bacia Amazônica, Bacia Platina e Bacia do Tocantins). Há três tipos de clima: equatorial continental úmido com estação seca definida da depressão sul Amazônica, subequatorial continental úmido com estação seca definida do planalto dos Parecis e, tropical continental úmido e seco das chapadas, planaltos e depressões. A precipitação pluviométrica varia de 1000 a 2000 mm por ano. O relevo é caracterizado por planaltos, depressões e planícies, com altitudes variando de 100 a 1200 m (GOVERNO DO ESTADO DE MATO GROSSO, 2016).

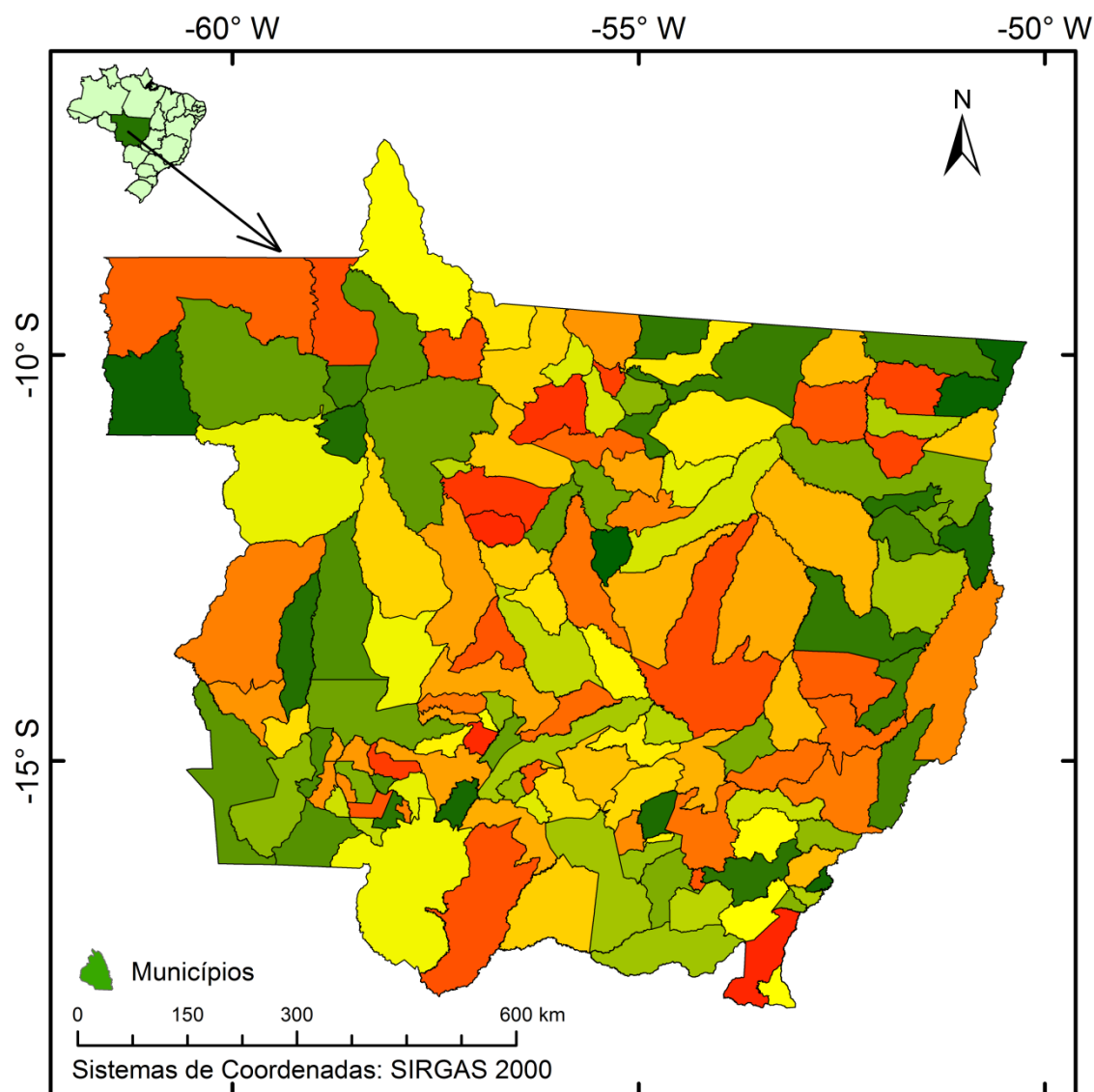


Figura 1: Localização geográfica do Estado do Mato Grosso.

2.2 Potencial produtivo: zoneamento climático

2.2.1 Espacialização das variáveis climáticas

Para construção do zoneamento climático, utilizaram as variáveis: temperatura mínima, média e máxima, velocidade do vento, precipitação pluviométrica, evapotranspiração potencial e real, umidade relativa do ar, radiação solar, excesso e deficiência hídrica e duração da estação seca.

Estas variáveis foram obtidas a partir do trabalho realizado por Xavier et al. (2015). Os autores desenvolveram uma rede diária com resolução de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ (aproximadamente 28×28 km) de variáveis meteorológicas para o Brasil, no período de 1980 a 2013. As variáveis interpoladas foram temperatura (máxima e mínima), radiação solar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, precipitação e evapotranspiração potencial, obtidos em 3625 pluviômetros e 735 estações meteorológicas. Estes dados

meteorológicos estão disponíveis no site <https://utexas.app.box.com/Xavier-et-al-IJOC-DATA>.

A temperatura média foi obtida pela média entre a temperatura máxima e mínima. A duração da estação seca foi caracterizada pelo período cuja precipitação pluviométrica mensal foi menor ou igual a 50 mm (KEOGH, 1987; KAOSA-ARD, 1995; RONDON NETO et al., 1998). A evapotranspiração real, os excedentes e as deficiências hídricas foram obtidos através do cálculo do balanço hídrico, calculado pelo método de Thornthwaite e Mather (1955), considerando a CAD (capacidade de água disponível no solo) de 300 mm, que é recomendada para espécies arbóreas (PEREIRA et al., 2002).

Os dados foram processados e editados no Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa (UFV), utilizando a linguagem de programação Python. Foram obtidas as médias mensais e anuais das variáveis em estudo para cada célula espacializada.

Sistematizado o banco de dados, elaborou-se mapas em formato raster com espacialização de todas variáveis climáticas, utilizando o módulo ArcToolbox – Conversion Tools – To Raster - Polygon to Raster, do ArcGIS, versão 10.1, desenvolvido pelo Environmental Systems Research Institute (ESRI, 2012) (Figuras 2 e 3). As estatísticas da espacialização das variáveis climáticas encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1: Estatísticas da espacialização de variáveis climáticas para o Estado de Mato Grosso, conforme Xavier et al. (2015).

Variável climática	Mínima	Máxima	Média	Desvio Padrão
Temperatura média anual (°C)	24,3	27,4	26,3	0,4
Temperatura média mínima anual (°C)	17,9	22,3	20,3	0,6
Temperatura média máxima anual (°C)	30,7	33,2	32,3	0,3
Velocidade do vento (média anual) (m s ⁻¹)	0,7	1,2	0,9	0,1
Precipitação média anual (mm)	1202,5	2498,4	1767,5	253,9
Umidade relativa do ar média anual (%)	69,0	83,5	75,9	3,3
Evapotranspiração potencial média anual (mm)	1287,5	1505,0	1382,9	41,8
Radiação solar média diária (MJ m ⁻²)	16,0	18,6	17,5	0,5
Evapotranspiração real média anual (mm)	1097,4	1331,0	1186,8	34,1
Excesso hídrico médio anual (mm)	47,3	1282,8	581,3	262,1
Deficiência hídrica média anual (mm)	74,5	349,6	196,1	48,7
Duração da estação seca média anual (meses)	2,3	5,2	4,0	0,5

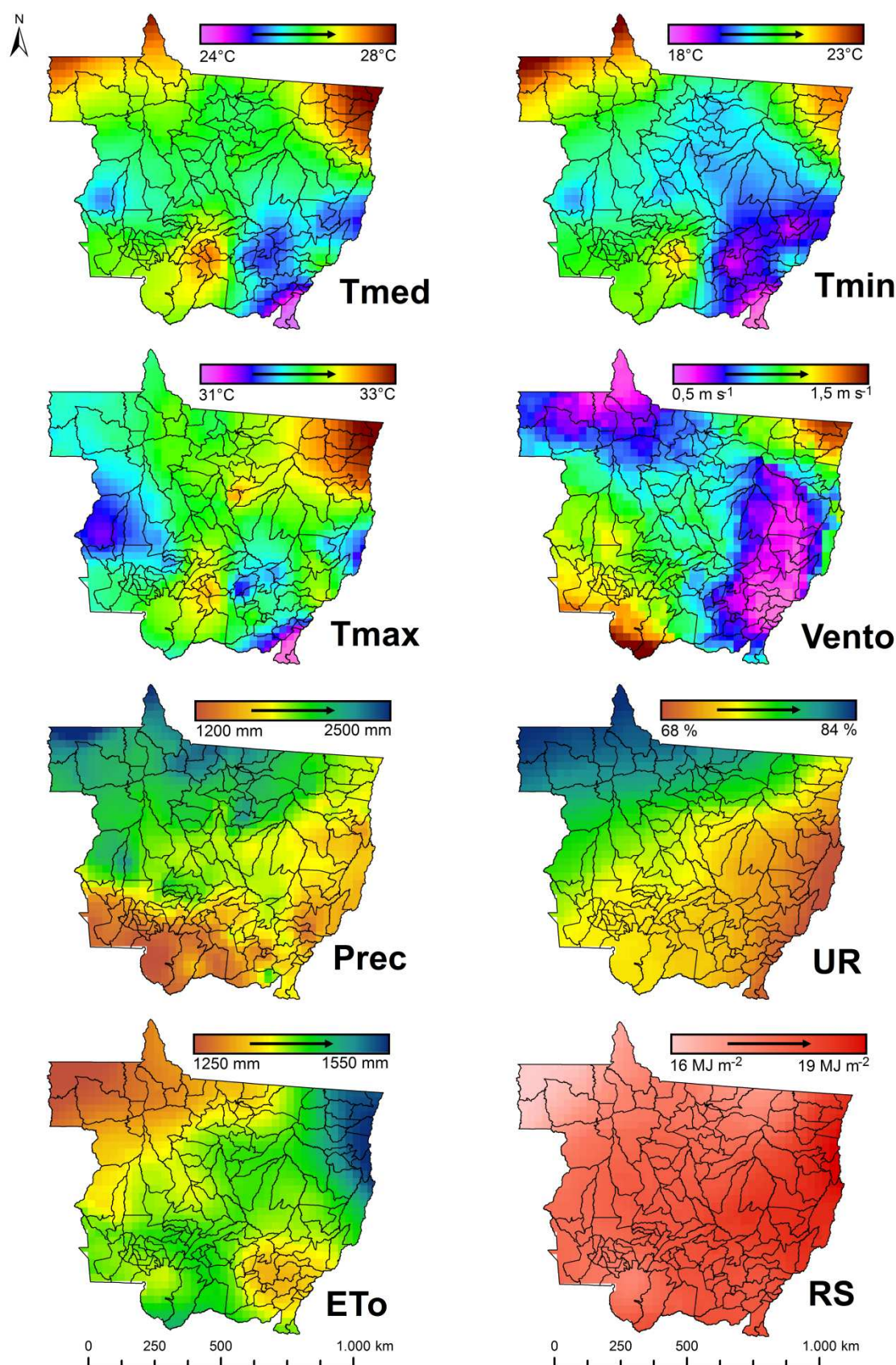


Figura 2: Espacialização de variáveis climáticas para o Estado de Mato Grosso, em que: T = temperatura; Prec = precipitação pluviométrica; UR = umidade relativa do ar; ETo = evapotranspiração potencial; RS = radiação solar; med = média; min = mínima e max = máxima.

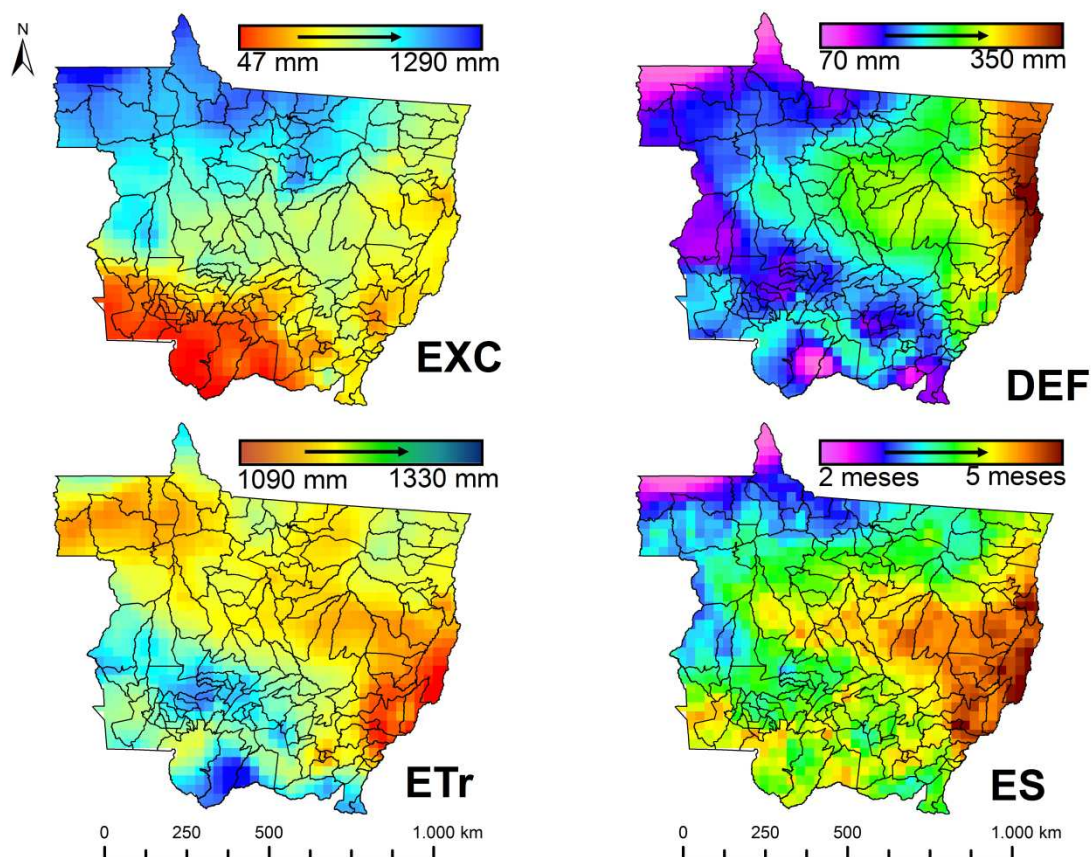


Figura 3: Espacialização de variáveis climáticas calculadas (médias anuais) para o Estado de Mato Grosso, em que: EXC = excesso hídrico; DEF = deficiência hídrica; ETr = evapotranspiração real; ES = duração da estação seca. Escala: 1:23.000.000.

2.2.2 Reclassificação das variáveis climáticas

Com as variáveis climáticas espacializadas, estas foram reclassificadas no módulo Spatial Analyst Tools – Reclass – Reclassify do ArcGIS, para gerar as informações de aptidão climática (zoneamento climático). A reclassificação foi de acordo com as exigências climáticas da cultura da teca (Tabela 2), com base em Golfari et al. (1978), Keogh (1987), Kaosa-Ard (1989, 1995), Lamprecht (1990), Weaver (1993), Pandey e Brown (2000), Cáceres Florestal (2006), Pelissari et al. (2014) e Midgley et al. (2015).

A aptidão climática foi classificada conforme metodologia proposta por Silva et al. (1996), Luppi et al. (2014) e Santos et al. (2015), em quatro classes (apta, apta com restrição, restrita e inapta) e, a estas foram adicionados pesos com os respectivos valores 4, 3, 2 e 1, sendo:

Apta (peso 4): condições climáticas da área apresentam-se favoráveis para o bom desenvolvimento e produção da cultura em escala comercial.

Apta com restrição (peso 3): condições climáticas da área apresentam-se restrições moderadas, que limitam o bom desenvolvimento e produção da cultura em escala comercial.

Restrita (peso 2): condições climáticas podem eventualmente prejudicar as fases de desenvolvimento da cultura, repercutindo negativamente em sua produção.

Inapta (peso 1): condições climáticas não se apresentam adequadas à exploração comercial da cultura, por apresentarem limitações severas quanto aos fatores hídricos ou térmicos, ou ambos, com marcante repercussão em sua produção, exigindo, para que sejam corrigidas, práticas silviculturais dispendiosas ou inviáveis.

Tabela 2: Exigências climáticas de *Tectona grandis*.

Variável	Apta	Apta com restrição	Restrita	Inapta
Temperatura média anual (°C)	25 a 28	20 a 25 28 a 33	16 a 20 33 a 40	<16 e > 40
Temperatura mínima anual (°C)	20 a 24	13 a 20	7 a 13	<7
Temperatura máxima anual (°C)	28 a 30	30 a 40	40 a 45	>45
Velocidade do vento (média anual) (m s ⁻¹)	<7,9	8 a 13,8	13,9 a 20,7	>20,8
Precipitação média anual (mm)	1300 a 2200	1000 a 1300 2300 a 4000	700 a 900 4100 a 4900	<600 e >5000
Umidade relativa do ar média anual (%)	60 a 80	80 a 90 40 a 60	20 a 40	<20 e >90
Evapotranspiração potencial média anual (mm)	<1000	1000 a 1200	1200 a 1600	>1700
Radiação solar média diária (MJ m ⁻²)	16 a 20	14 a 16 > 20	12 a 14	<12
Evapotranspiração real média anual (mm)	<1000	1000 a 1200	1200 a 1600	>1700
Excesso hídrico médio anual (mm)	<300	300 a 600	600 a 900	>900
Deficiência hídrica média anual (mm)	<200	200 a 300	300 a 500	>600
Duração da estação seca média anual (meses)	2 a 4	<1 e 5 a 6	6 a 7	>7

Para classificação da variável velocidade do vento adaptou-se a escala de força dos ventos de Beaufort - DHN 5395 (DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO, sd), sendo:

- apto: folhas e pequenos galhos movem-se ligeiramente e de forma constante;
- apto com restrição: há agitação dos arbustos e dos galhos mais grossos;
- restrito: há balanço no tronco de árvores menores, causando vergamento;
- inapto: danos econômicos às árvores, como, quebra de galhos, copa, tronco.

Para a variável radiação solar, tomou-se como referência Lopes e Lima (2015) e para sua classificação a pesquisa desenvolvida por Ferreira (2009), que verificou incrementos máximos na altura de árvores dominantes de *Eucalyptus* sp., no extremo sul do Estado da Bahia, quando a radiação solar apresentava em torno de 18 MJ m^{-2} .

2.2.3 Elaboração do zoneamento climático

Com as variáveis reclassificadas e certificado que todos os mapas (raster) apresentavam um mesmo número de células, sistema de projeção e de coordenadas e, de posse do modelo climático, procedeu-se a elaboração do zoneamento climático, utilizando o módulo ArcToolbox - Analysis Tools do ArcGIS, ferramenta raster calculation. O zoneamento é produto da soma das variáveis climáticas, após a multiplicação destas pelos respectivos coeficientes (pesos).

O modelo climático foi ajustado com base no grau de importância relativa, no grau de restrição e na análise de sensibilidade das variáveis que compõem o modelo.

O grau de importância das variáveis foi definido com base na metodologia proposta por Saaty (1977), que se baseia no método Analytical Hierarchical Process (AHP), sendo o grau de importância atribuído a partir de uma discussão entre especialistas, atribuindo valores variando de 1 (igual importância) a 9 (importância extrema), sendo:

- 1 - Igualmente importante a
- 3 - Moderadamente mais importante que
- 5 - Fortemente mais importante que
- 7 - Muito fortemente mais importante que
- 9 - Extremamente mais importante que
- 2, 4, 6 e 8 - Valores intermediários

O grau de restrição das variáveis foi verificado durante a reclassificação, sendo que, maiores pesos foram atribuídos às variáveis com maiores restrições às exigências da cultura da teca.

A análise de sensibilidade foi obtida pela ferramenta Global Sensitivity Analysis, do módulo Neural Networks do software Statistica 13 (DELL STATSOFT, 2015). Foram realizados cinco treinamentos com 50 redes cada. Em seguida, obteve-se a média dos resultados da análise de sensibilidade das 50 redes treinadas para cada variável, em cada treino.

Selecionou-se também a rede que apresentou melhores estatísticas de qualidade de ajuste, constituindo uma matriz com duas colunas por treinamento, sendo, uma com a média dos resultados da análise de sensibilidade e outra da rede selecionada. Em seguida, ranqueou-se as variáveis, daquela de maior importância para a menor.

Construiu-se uma matriz 10 x 12, sendo, 10 colunas com o ranque de importância das variáveis e 12 linhas equivalentes ao número de variáveis climáticas.

A definição do grau de importância deu-se pela maior frequência de cada variável nas linhas da referida matriz. Por exemplo, se na primeira linha uma determinada variável apareceu em 7 das 10 colunas, esta foi considerada a mais importante e, assim sucessivamente.

Posteriormente, elaborou-se uma matriz de comparação (Apêndice 1), na qual as variáveis são comparadas aos pares considerando o grau de importância de um fator em relação a outro fator. Para verificar a consistência e veracidade dos coeficientes do modelo, calculou-se a razão de Consistência (RC) que, segundo Saaty (1977), deve ser menor que 0,1.

Os pesos atribuídos às variáveis climáticas, os coeficientes gerados pela AHP e a razão de consistência estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Grau de importância (peso), coeficientes e razão de consistência (RC) do modelo climático.

Variável	Peso	Coeficiente	RC
Temperatura máxima	1	0,0278	0,00
Umidade relativa do ar	1	0,0278	
Velocidade do vento	1	0,0278	
Evapotranspiração potencial	1	0,0278	
Radiação solar	3	0,0833	0,00
Temperatura mínima	3	0,0833	
Evapotranspiração real	3	0,0833	
Temperatura média	3	0,0833	
Excesso hídrico	5	0,1389	0,00
Deficiência hídrica	5	0,1389	
Duração da estação seca	5	0,1389	
Precipitação	5	0,1389	

Com o zoneamento espacializado, este foi reclassificado no módulo Spatial Analyst Tools – Reclass – Reclassify do ArcGIS, para gerar o mapa de aptidão (zoneamento), sendo a área territorial do Estado classificada em apta, apta com restrição, restrita e inapta.

Para a classificação adaptou-se a metodologia utilizada por Luppi (2014), que se baseia na divisão das estatísticas geradas na espacialização após aplicação do modelo, sendo:

- **Apto:** $> (\text{média} + \text{desvio padrão})$;
- **Apto com restrição:** $\text{média} + \text{desvio padrão}$;
- **Restrito:** $\text{média} - \text{desvio padrão}$;
- **Inapto:** $< (\text{média} - \text{desvio padrão})$.

A média refere-se à média da classe de aptidão (pesos) após a aplicação de cada modelo e posterior espacialização na ferramenta raster calculation do ArcGIS.

2.3 Potencial produtivo: zoneamento edáfico

2.3.1 Espacialização das variáveis edáficas

Para construção do zoneamento edáfico utilizaram-se as variáveis: classes de solo, textura, profundidade efetiva e drenagem.

As variáveis classe de solo e textura foram obtidas em mapas de solos em escala de 1:250.000, utilizados na elaboração do Zoneamento Sócio-Econômico-Ecológico de Mato Grosso (ZSEE-MT) e que foram disponibilizados pela Secretaria de Estado de Planejamento de Mato Grosso (SEPLAN, 2001). Esta classificação foi atualizada para o atual sistema brasileiro de classificação de solos, conforme Santos et al. (2011; 2013a) (Tabela 4).

Tabela 4: Classes de solo (até o 3º nível de classificação) do Estado de Mato Grosso, conforme SEPLAN (2001), atualizada para o novo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2011; 2013a).

Classificação aproximada (SBSC)	Legenda	Área (%)
Afloramentos de Rochas	AR	0,004
Argissolos Amarelos Distróficos	PAd	0,056
Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos	PVAd	20,806
Argissolos Vermelho-Amarelos Eutróficos	PVAe	2,629
Argissolos Vermelhos Distróficos	PVd	0,076
Argissolos Vermelhos Eutróficos	PVe	0,089
Cambissolos Háplicos Tb Distróficos	CXbd	4,767
Cambissolos Háplicos Tb Eutróficos	CXbe	0,100
Chernossolos Argilúvicos	MT	0,042
Gleissolos Háplicos Tb Distróficos	GXbd	3,022
Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos	LVAd	17,514
Latossolos Vermelhos Distroférricos	LVdf	0,152
Latossolos Vermelhos Distróficos	LVd	22,900
Neossolos Flúvicos Tb Distróficos	RYbd	0,389
Neossolos Litólicos Distróficos	RLd	3,230
Neossolos Quartzarênicos Órticos	RQo	12,140
Nitossolos Vermelhos Distróficos	NVd	0,051
Organossolos Háplicos	OX	0,360
Planossolos Háplicos Eutróficos	SXe	2,184
Planossolos Nátricos	SN	0,017
Plintossolos Háplicos Distróficos	FXd	7,339
Plintossolos Pétricos	FF	2,132

As variáveis edáficas drenagem e profundidade efetiva foram extraídas dessas classes de solos, de forma indireta, ou seja, correlacionando essas variáveis com as características das respectivas classes de solos. Para realização dessa atividade contou-se com o apoio e conhecimento de professores da área de classificação de solos do Departamento de Solos da UFV.

Para o tratamento, edição, confecção de mapas e espacialização das variáveis (Figura 4) utilizou-se o mesmo procedimento relativo às variáveis climáticas.

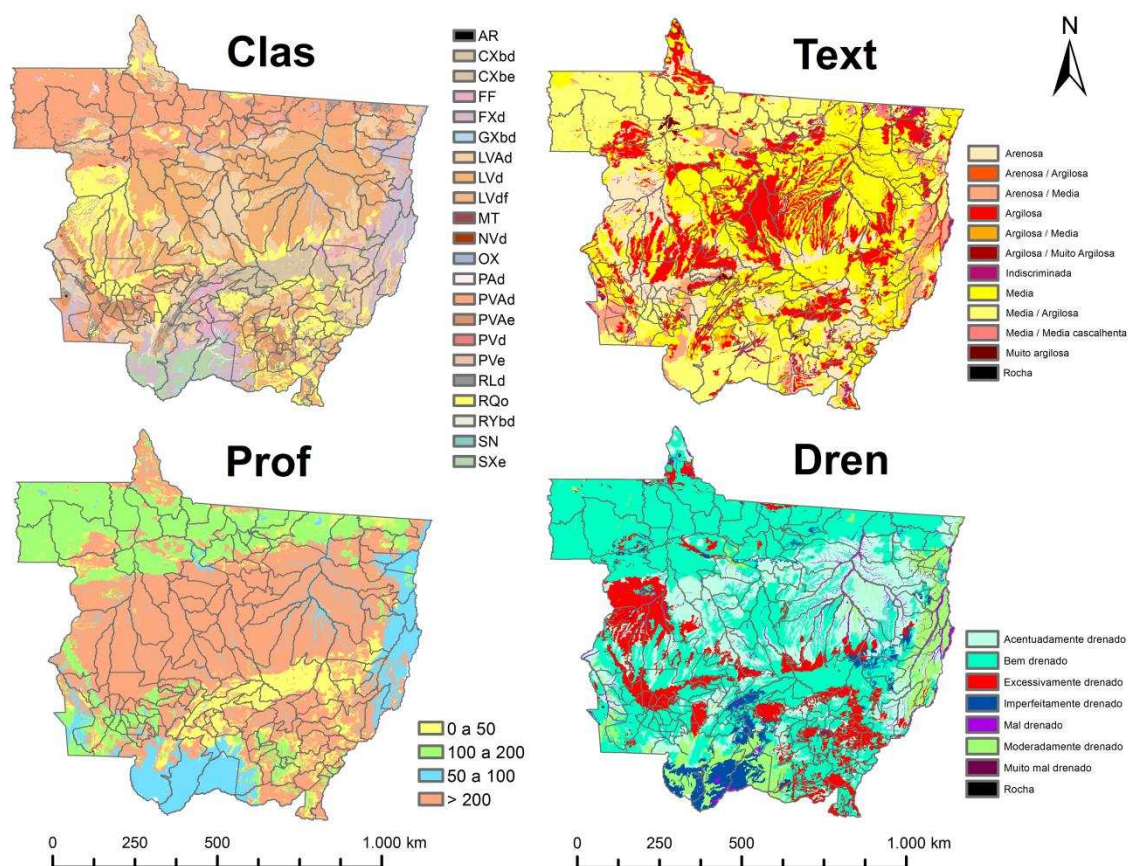


Figura 4: Espacialização de variáveis edáficas para o Estado de Mato Grosso, em que: Clas = classificação aproximada (SBCS-2013); Textura = textura; Prof = profundidade efetiva (cm); Dren = drenagem.

2.3.2 Reclassificação das variáveis edáficas

Após a espacialização das variáveis edáficas, os mapas dessas variáveis foram reclassificados, de acordo com as exigências da espécie (Tabela 5), conforme Golfari et al.(1978), Keogh (1987), Kaosa-Ard (1989; 1995), Matricardi (1989), Lamprecht (1990), Waver (1993), Pandey e Brown (2000), Cáceres Florestal (2006), Alvarado e Mata (2013), Pelissari et al. (2014) e Midgley et al. (2015).

Para reclassificação das variáveis edáficas adotou-se o mesmo procedimento metodológico utilizado na reclassificação das variáveis climáticas.

Tabela 5: Exigências edáficas de *Tectona grandis*.

Variável	Apta	Apta com restrição	Restrita	Inapta
Classe de solo	MT, PVAe, PVe e RYbd	LVAd, LVd, LVdf, NVd, PAd, PVAd e PVd	CXbe, FF, FXd, SXe e RQo	AR, CXbd, GXbd, OX, RLd, SN
Textura	média	argilosa/média, média/argilosa	arenosa/argilosa, arenosa/média, argilosa, argilosa/muito argilosa	afloramento de rochas, indiscriminada arenosa, média/média cascalhenta e muito argilosa raso
Profundidade efetiva	muito profundo	profundo	pouco profundo	
Drenagem	bem drenado	acentuadamente drenado e moderadamente drenado	imperfeitamente drenado e fortemente drenado	excessivamente drenado, mal drenado e muito mal drenado

O agrupamento das variáveis edáficas (profundidade efetiva e drenagem) nas respectivas classes de aptidão, foi realizado de acordo com IBGE (2007) e Santos et al. (2011; 2013a), sendo:

- Profundidade efetiva:

Raso: menor ou igual a 50 cm;

Pouco profundo: maior que 50 cm e menor ou igual a 100 cm;

Profundo: maior que 100 cm e menor ou igual a 200 cm; e

Muito profundo: maior que 200 cm.

- Drenagem:

Excessivamente drenado: a água é removida do solo muito rapidamente; os solos com esta classe de drenagem são de textura arenosa.

Fortemente drenado: a água é removida rapidamente do solo; os solos com esta classe de drenagem são muito porosos, de textura média a arenosa e bem permeáveis.

Acentuadamente drenado: a água é removida rapidamente do solo; os solos com esta classe de drenagem são normalmente de textura argilosa a média, porém sempre muito porosos e bem permeáveis.

Bem drenado: a água é removida do solo com facilidade, porém não rapidamente; os solos com esta classe de drenagem comumente apresentam textura argilosa ou média.

Moderadamente drenado: a água é removida do solo lentamente, de modo que o perfil permanece molhado por uma pequena, porém significativa, parte do tempo. Os solos com esta classe de drenagem apresentam uma camada de permeabilidade lenta no solum ou imediatamente abaixo dele.

Imperfeitamente drenado: a água é removida do solo lentamente, de tal modo que este permanece molhado por período significativo, mas não durante a maior parte do ano. Os solos com esta classe de drenagem comumente apresentam uma camada de permeabilidade lenta no solum, lençol freático alto, adição de água através de translocação lateral interna ou alguma combinação destas condições.

Mal drenado: a água é removida do solo tão lentamente que este permanece molhado por uma grande parte do ano. O lençol freático comumente está à superfície ou próximo a ela durante uma considerável parte do ano. As condições de má drenagem são devidas a lençol freático elevado, camada lentamente permeável no perfil, adição de água através de translocação lateral interna ou alguma combinação destas condições.

Muito mal drenado: a água é removida do solo tão lentamente que o lençol freático permanece à superfície ou próximo dela durante a maior parte do ano. Solos com drenagem desta classe usualmente ocupam áreas planas ou depressões, onde há frequentemente estagnação de água.

Variáveis relacionadas com fertilidade do solo, embora importantes para o crescimento e produção da cultura da teca (MATRICARDI, 1989; KAOSA-ARD, 1995; ALVARADO; MATA, 2013; PELISSARI et al., 2014; MIDGLEY et al., 2015) não foram consideradas, visto que podem ser adequadas de acordo com as características do solo e demandas nutricionais da espécie.

2.3.3 Elaboração do zoneamento edáfico

O zoneamento edáfico foi elaborado seguindo a mesma metodologia para variáveis climáticas, cujas características do modelo encontram-se na Tabela 6 e a matriz de comparação das variáveis encontra-se no Apêndice 2.

Tabela 6: Grau de importância (peso), coeficientes e razão de consistência (RC) do modelo edáfico.

Variável	Peso	Coeficiente	RC
Drenagem	1	0,0715	0,048
Profundidade efetiva	3	0,2143	
Textura	5	0,3571	
Classe de solo	5	0,3571	

2.4 Potencial produtivo: zoneamento fisiográfico

2.4.1 Espacialização das variáveis fisiográficas

Para construção do zoneamento fisiográfico utilizaram-se as variáveis: altitude, exposição e inclinação do terreno e índice topográfico de umidade (ITW).

As variáveis altitude, exposição e inclinação do terreno foram derivadas do modelo digital de elevação proveniente da missão SRTM (Shuttle Radar Topograph Mission), da Agência Espacial Norte Americana (NASA), a qual mapeou a elevação de toda superfície terrestre, por meio de interferometria de radar, produzindo modelos digitais de elevação (MDE) de 30 m de resolução espacial (Figura 5). A NASA disponibiliza esses dados gratuitamente, podendo ser obtidos em <http://earthexplorer.usgs.gov/>.

O Índice Topográfico de Umidade (ITW) ou TWI (Topography Index Wetness) foi calculado de acordo com a metodologia proposta por Moore et al. (1993) (1):

$$TWI = Ln\left(\frac{AS}{\tan\beta}\right) \quad (1)$$

em que: AS é a área específica de trabalho (fluxo acumulado) ou, é a área de contribuição por unidade de largura ortogonal à direção do fluxo X tamanho do grade, em m^2 e, β é a declividade (graus).

Para tratamento, edição, confecção de mapas e espacialização das variáveis (Figura 5) utilizou-se o mesmo procedimento relativo às variáveis climáticas. As estatísticas da espacialização das variáveis fisiográficas encontram-se na Tabela 7.

Tabela 7: Estatísticas da espacialização de variáveis fisiográficas para o Estado de Mato Grosso, conforme dados da SRTM.

Variável fisiográfica	Mínima	Máxima	Média	Desvio Padrão
Altitude (m)	64,0	1161,0	335,7	141,0
Inclinação do terreno (%)	0,0	419,6	6,2	6,4
Exposição do terreno (°)	-1,0	359,9	174,7	105,4
ITW	2,1	29,4	8,4	2,6

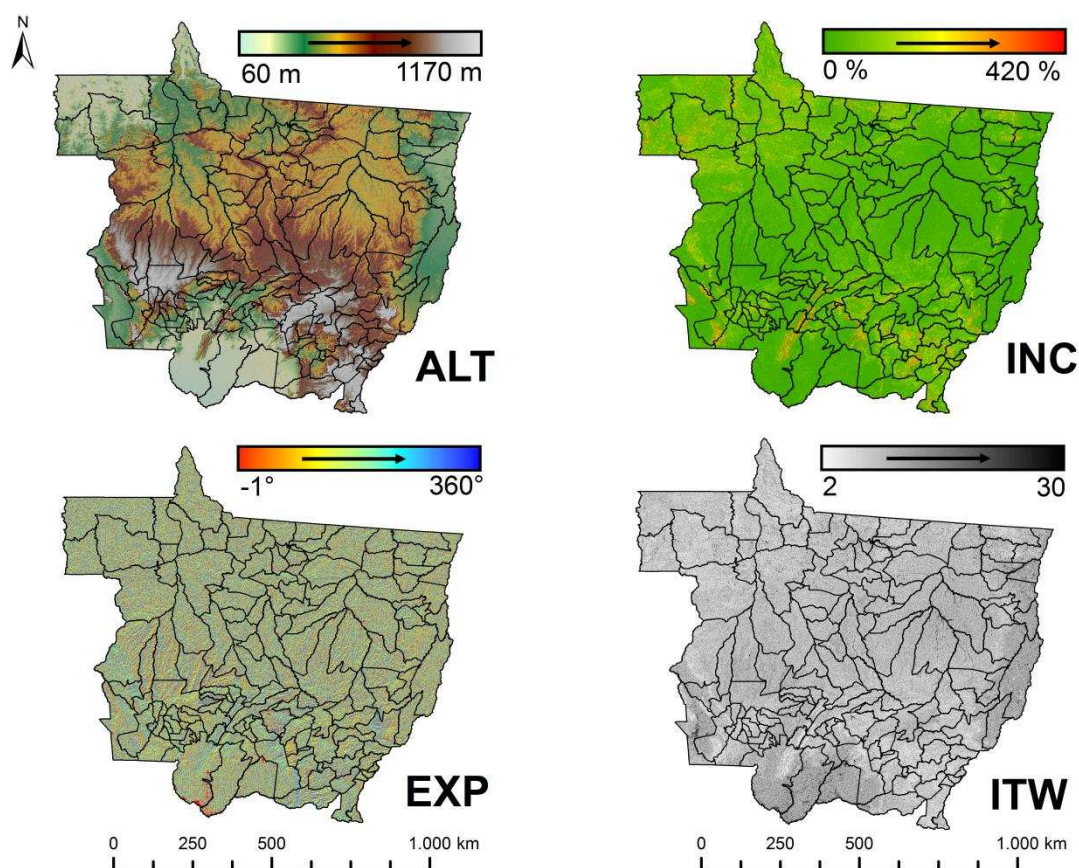


Figura 5: Espacialização de variáveis fisiográficas para o Estado de Mato Grosso, em que: ALT = altitude; INC = inclinação do terreno; EXP = exposição do terreno; ITW = índice topográfico de umidade.

2.4.2 Reclassificação das variáveis fisiográficas

Após a espacialização das variáveis fisiográficas, os mapas dessas variáveis foram reclassificados, de acordo com as exigências da espécie (Tabela 8), conforme Golfari et al. (1978), Keogh (1987), Kaosa-Ard (1989, 1995), Lamprecht (1990), Weaver (1993), Pandey e Brown (2000), Cáceres Florestal (2006), Pelissari et al. (2014) e Midgley et al. (2015). Para reclassificação das variáveis fisiográficas adotou-se o mesmo procedimento utilizado na reclassificação das variáveis climáticas.

Tabela 8: Exigências fisiográficas de *Tectona grandis*.

Variável	Apta	Apta com restrição	Restrita	Inapta
Altitude (m)	200 a 400	<200 e 400 a 600	600 a 1300	>1300
Exposição do terreno (°)	norte (337 - 22,5) noroeste (292,5 - 337,5)	oeste (247,5 - 292,5) nordeste (22,5 - 67,5)	leste (67,5 - 112,5) sudoeste (202,5 - 247,5)	sul (157,5 - 202,5) sudeste (112,5 - 157,5)
ITW	<6	6 a 8	8 a 12	>12
Inclinação do terreno (%)	<9	9 a 20	20 a 45	>45

2.4.3 Elaboração do zoneamento fisiográfico

O zoneamento fisiográfico foi elaborado seguindo a mesma metodologia para variáveis climáticas (Tabela 9) e a matriz de comparação encontra-se no Apêndice 3.

Tabela 9: Grau de importância (peso), coeficientes e razão de consistência (RC) do modelo fisiográfico.

Variável	Peso	Coeficiente	RC
Exposição do terreno	1	0,1429	0,00
Inclinação do terreno	1	0,1429	
ITW – Índice topográfico de umidade	2	0,2857	
Altitude	3	0,4286	

2.5 Potencial produtivo: zoneamento climático+edáfico+fisiográfico

Para construção do zoneamento climático+edáfico+fisiográfico utilizaram-se as variáveis: temperatura mínima, média e máxima, velocidade do vento, precipitação, evapotranspiração potencial e real, umidade relativa do ar, radiação solar, excesso e deficiência hídrica, duração da estação seca, classe de solo, textura, profundidade efetiva, drenagem, altitude, exposição e inclinação do terreno e índice topográfico de umidade (ITW).

No módulo ArcToolbox - Spatial Analyst Tools - Map Algebra do ArcGIS, ferramenta manual raster calculation, por meio da intersecção das variáveis climáticas, edáficas e fisiográficas (em formato raster) já reclassificadas, elaborou-se o mapa temático para o zoneamento agroclimático da cultura da teca no Estado de Mato Grosso, cujo potencial produtivo foi expresso em classes de aptidão, sendo, a área territorial do Estado classificada em apta, apta com restrição, restrita e inapta, conforme as exigências ecológicas da espécie (Tabelas 2, 5 e 8).

Os critérios de classificação foram baseados nas estatísticas obtidas na reclassificação das variáveis, como descrito no item 2.2.3.

As características do modelo utilizado para elaboração do zoneamento climático+edáfico+fisiográfico encontram-se na Tabela 10 e a matriz de comparação das variáveis encontram-se no Apêndice 4.

Tabela 10: Grau de importância (peso), coeficientes e razão de consistência (RC) do modelo climático+edáfico+fisiográfico.

Variável	Peso	Coeficientes	RC
ITW	1	0,0100	0,00
Exposição do terreno	1	0,0100	
Inclinação do terreno	1	0,0100	
Umidade relativa do ar	1	0,0100	
Duração da estação seca	3	0,0300	
Radiação solar	3	0,0300	
Excesso hídrico	3	0,0300	
Temperatura média	3	0,0300	
Deficiência hídrica	5	0,0500	
Evapotranspiração potencial	5	0,0500	
Evapotranspiração real	5	0,0500	
Velocidade do vento	5	0,0500	
Temperatura máxima	7	0,0700	
Temperatura mínima	7	0,0700	
Precipitação	7	0,0700	
Altitude	7	0,0700	
Drenagem	9	0,0900	
Profundidade efetiva	9	0,0900	
Classe de solo	9	0,0900	
Textura	9	0,0900	

Utilizou tabela ou matriz de confusão (PRINA; TRENTIN, 2015) para avaliar o desempenho global (DG), que tem relação com a exatidão ou com o grau de concordância entre as classes de produtividade dos dados observados e as classes definidas pelo zoneamento climático+edáfico+fisiográfico (PELUZIO et al., 2012). O índice Kappa (IK) (LANDIS; KOCH, 1977; PELUZIO et al., 2012) foi utilizado para avaliar a precisão ou qualidade das estimativas entre as classes de dados observados e as classes definidas pelo zoneamento. O DG foi calculado pela equação 2 e o IK, que varia de 0 (baixa qualidade) a 1 (qualidade excelente), foi calculado pelas equações 3 e 4.

$$DG = \left(\frac{D}{T}\right) \quad (2); \quad IK = \left(\frac{D-Q}{T-Q}\right) \quad (3); \quad Q = \left(\frac{EO*EC}{T} + \dots + \frac{EOn*ECn}{T}\right) \quad (4)$$

em que: IK : índice de Kappa;

DG: desempenho global;

D: soma dos valores da diagonal principal da matriz;

Q: coeficiente entre o erro de comissão e o erro de omissão;

T: total de amostras ou “quadrículas” examinadas;

EO: erro de omissão;

EC : erro de comissão.

2.6 Potencial produtivo: modelagem

Para identificação do potencial produtivo da cultura da teca no Estado de Mato Grosso através da modelagem utilizou-se redes neurais artificiais (RNA).

Os dados de incremento médio anual em volume na idade de 12 anos (IMA_{12}), que representa a metade da idade de rotação, foram extraídos de banco de dados de inventários florestais contínuos de empresas florestais que cultivam teca no Estado de Mato Grosso.

As variáveis ambientais utilizadas foram: temperatura mínima, média e máxima, velocidade do vento, precipitação, evapotranspiração potencial e real, umidade relativa do ar, radiação solar, excesso e deficiência hídrica, duração da estação seca, classe de solo, textura, profundidade efetiva, drenagem, altitude, exposição e inclinação do terreno e índice topográfico de umidade (ITW). A origem destas variáveis foi apresentada nos itens 2.2, 2.3 e 2.4.

Para definição do potencial produtivo da cultura da teca em função das variáveis ambientais, adotou-se o modelo $y=f(x_1+x_2+...+x_n)$, sendo, “y” o IMA_{12} (incremento médio anual na idade de 12 anos) e “x” as variáveis ambientais. O IMA_{12} foi obtido pela divisão da produção líquida (contabilizando volumes desbastados e remanescentes) pela idade de 12 anos. Foi avaliado o potencial produtivo em função de variáveis climáticas, edáficas, fisiográficas em separado e em conjunto.

Nesta pesquisa, não foram consideradas informações do regime de implantação e manejo dos povoamentos, como por exemplo, genótipo, método de preparo de solo, espaçamento inicial de plantio, controle de plantas daninhas, fertilização, desramas e tipo e peso de desbaste.

Em talhões ou parcelas com idades de 9 a 11 anos projetaram-se a produção líquida para idade (I) de 12 anos. Para tanto, utilizou-se o índice de consistência (IcV), que consiste na razão da produção líquida estimada e observada (\hat{V}_1 e V_1) (CAMPOS; LEITE, 2013) (5 e 6).

$$IcV = \frac{\hat{V}_1}{V_1} = \frac{\exp^{5,84012 + \left(\frac{b-8,28112}{I_1}\right)}}{V_1} \quad (5) \quad \hat{V}_2 = \frac{\hat{V}_1}{IcV} = \frac{\exp^{5,84012 + \left(\frac{-8,28112}{I_2}\right)}}{IcV} \quad (6) \quad r_{y\hat{y}}=0,74$$

Na ferramenta Extract – Extract to Point Mult Value do ArcGIS, sendo as coordenadas (latitude e longitude) dos talhões ou parcelas os inputs e os mapas espacializados em formato raster das variáveis ambientais os outputs, gerou-se o banco de dados para treinar as RNA para estimativa da produtividade da cultura da teca para o Estado de Mato Grosso.

Utilizou-se o software Neuroforest[®] (<http://neuroforest.ucoz.com>), versão 4.0, para treinamento, validação e aplicação das RNA. Estas foram do tipo Multilayer Perceptron (MLP), totalizando três camadas: uma de entrada, uma oculta e uma de saída. O algoritmo de treinamento utilizado foi o Resilient propagation (RPROP+) (HEATON, 2011).

Foram utilizados 39 neurônios da camada de entrada (variáveis climáticas, edáficas e fisiográficas), 25 neurônios na camada oculta e um neurônio na camada de saída (IMA₁₂). A função de ativação utilizada para as camadas oculta e de saída foi do tipo sigmoide. O critério de parada utilizado foi o erro médio ou o número de ciclos, ou seja, o treinamento da rede foi finalizado quando o primeiro parâmetro foi atingido. O limite de parada foi de 0,0001 para o erro médio e 3.000 para o número de ciclos.

A definição da arquitetura da RNA com 25 neurônios na camada oculta para estimativa do IMA₁₂ deu-se após análise das estatísticas e distribuição da frequência percentual do resíduo de redes treinadas (10 por arquitetura) com diferentes números de neurônios (Apêndice 5). Da mesma forma, foram treinadas redes com diferentes porcentagens de dados (10 redes por arquitetura) e verificou-se que utilizando 100% dos dados para treinamento não haveria influência significativa nos resultados, caso utilizassem 70% ou mais dos dados para treinamento de acordo com as estatísticas geradas e distribuição da frequência percentual do resíduo (Apêndice 6).

Foram treinadas 100 redes, com 25 neurônios na camada oculta e 100% dos dados para treinamento, sendo escolhida aquela com maior coeficiente de correlação entre produtividades observadas e estimadas ($r_{y\hat{y}}$) (7), menor raiz quadrada do erro quadrático médio (RQEM) (8), menor erro relativo percentual (ER%) (9) além de análise gráfica de resíduos.

$$r_{y\hat{y}} = \frac{n^{-1}(\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \hat{y}_m)(y_i - \bar{y}))}{\sqrt{n^{-1} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \hat{y}_m)^2 (n^{-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2)}} \quad \hat{y}_m = n^{-1} \sum_{i=1}^n \hat{y}_i \quad (7)$$

$$RQEM = 100 \bar{Y}^{-1} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (8)$$

$$ER\% = 100 \left(\frac{\hat{y}_i - y_i}{y_i} \right) \quad (9)$$

em que: y_i e \hat{y}_i são os valores observados e estimados da variável dependente;

i é a i ésima observação da variável de interesse;

\bar{y} é a média aritmética de y ;

\hat{y}_m é a média das estimativas de y ;

n é o número de observações.

O banco de dados utilizado para estimar a produtividade da cultura da teca para o Estado de Mato Grosso foi criado a partir da conversão dos mapas em formato raster em pontos de todas as variáveis consideradas.

Para obtenção da feição de pontos utilizou-se a ferramenta Conversion Tools - From Raster – Raster To Point do ArcGIS para converter o mapa de referência (mapa de altitude obtida a partir da SRTM) de formato raster para formato de pontos, cujas células ou quadrículas apresentavam dimensões de 1000 x 1000 m. A ferramenta Add XY Coordinates do módulo Data Management Tool – Feature foi utilizada para adicionar coordenadas x e y ao grid de pontos.

Para extração dos dados ambientais de cada ponto do grid de células, utilizou-se a ferramenta Extract To Point Mult Value do módulo Spatial Analyst Tools – Extraction do ArcGIS. O input foi a feição do grade das células com coordenadas x e y e, os outputs foram os mapas espacializados em formato raster das variáveis ambientais.

Em seguida, os dados foram exportados para planilhas eletrônicas e aplicou-se a RNA treinada. A planilha com as coordenadas das células e do IMA₁₂ estimado foram enviadas para o ArcGIS, convertidas em feição de pontos e posteriormente em formato raster (Conversion Tools - To Raster - Point To Raster), o que gerou o mapa de produtividade para a cultura da teca no Estado de Mato Grosso.

Com o mapa do zoneamento espacializado, este foi reclassificado no módulo Spatial Analyst Tools – Reclass – Reclassify do ArcGIS, para gerar o mapa de aptidão (zoneamento), sendo a área territorial classificada em áreas de maior, médio e menor potencial produtivo.

Para a classificação adaptou-se a metodologia utilizada por Luppi (2014), que se baseia na divisão das estatísticas de produtividade estimada, geradas na espacialização após aplicação do modelo, sendo:

- **Maior produtividade:** $> \text{média} + \text{desvio padrão}$;
- **Média produtividade:** $\text{média} \pm \text{desvio padrão}$;
- **Menor produtividade:** $< \text{média} - \text{desvio padrão}$.

A média refere-se à média do IMA₁₂, após a espacialização das variáveis ambientais, obtida na conversão da feição pontos em raster (Conversion Tools - To Raster - Point To Raster do ArcGIS).

Utilizou matriz de confusão (PRINA; TRENTIN, 2015) para avaliar o desempenho global (DG), que tem relação com a exatidão ou com o grau de concordância entre dados observados e estimados nas classes de produtividade (PELUZIO et al., 2012). O índice Kappa (IK) (LANDIS; KOCH, 1977; PELUZIO et

al., 2012) foi utilizado para avaliação da precisão ou qualidade das estimativas entre os dados observados e estimados pela RNA, nas respectivas classes de produtividade.

O DG foi calculado pela equação 2 e o IK, que varia de 0 (baixa qualidade) a 1 (qualidade excelente), foi calculado pelas equações 3 e 4.

3 RESULTADOS

3.1 Potencial produtivo: zoneamento climático

Com a espacialização das variáveis climáticas verificou-se que estas oferecem poucas restrições ao cultivo da teca no Estado de Mato Grosso (Tabela 11).

Tabela 11: Espacialização das variáveis climáticas (%) para *Tectona grandis* no Estado de Mato Grosso.

Variável	Apta	Apta com restrição	Restrita	Inapta
Temperatura média	99	1	0	0
Temperatura mínima	68	32	0	0
Temperatura máxima	0	100	0	0
Velocidade do vento	100	0	0	0
Precipitação	95	5	0	0
Umidade relativa do ar	83	17	0	0
Evapotranspiração potencial	0	100	0	0
Radiação solar	100	0	0	0
Evapotranspiração real	0	70	30	0
Excesso hídrico	15	39	34	12
Deficiência hídrica	60	36	4	0
Duração da estação seca	50	50	0	0

Para a variável temperatura média, velocidade do vento, precipitação e radiação solar observa-se que em mais de 90% da área territorial do Estado não há restrições ao cultivo da teca. Já temperatura mínima e máxima, umidade relativa do ar, evapotranspiração potencial e real, excesso e deficiência hídrica e duração da estação seca foram aptas ao cultivo, contudo, possuem algum tipo de restrição que podem limitar moderadamente a produção. Por outro lado, evapotranspiração real, excesso e deficiência hídrica apresentaram restrições que podem influenciar negativamente o crescimento e produção da teca. Dessas, apenas o excesso hídrico define áreas inaptas ao cultivo comercial da teca.

A aptidão climática para o Estado de Mato Grosso está apresentada na Figura 6.

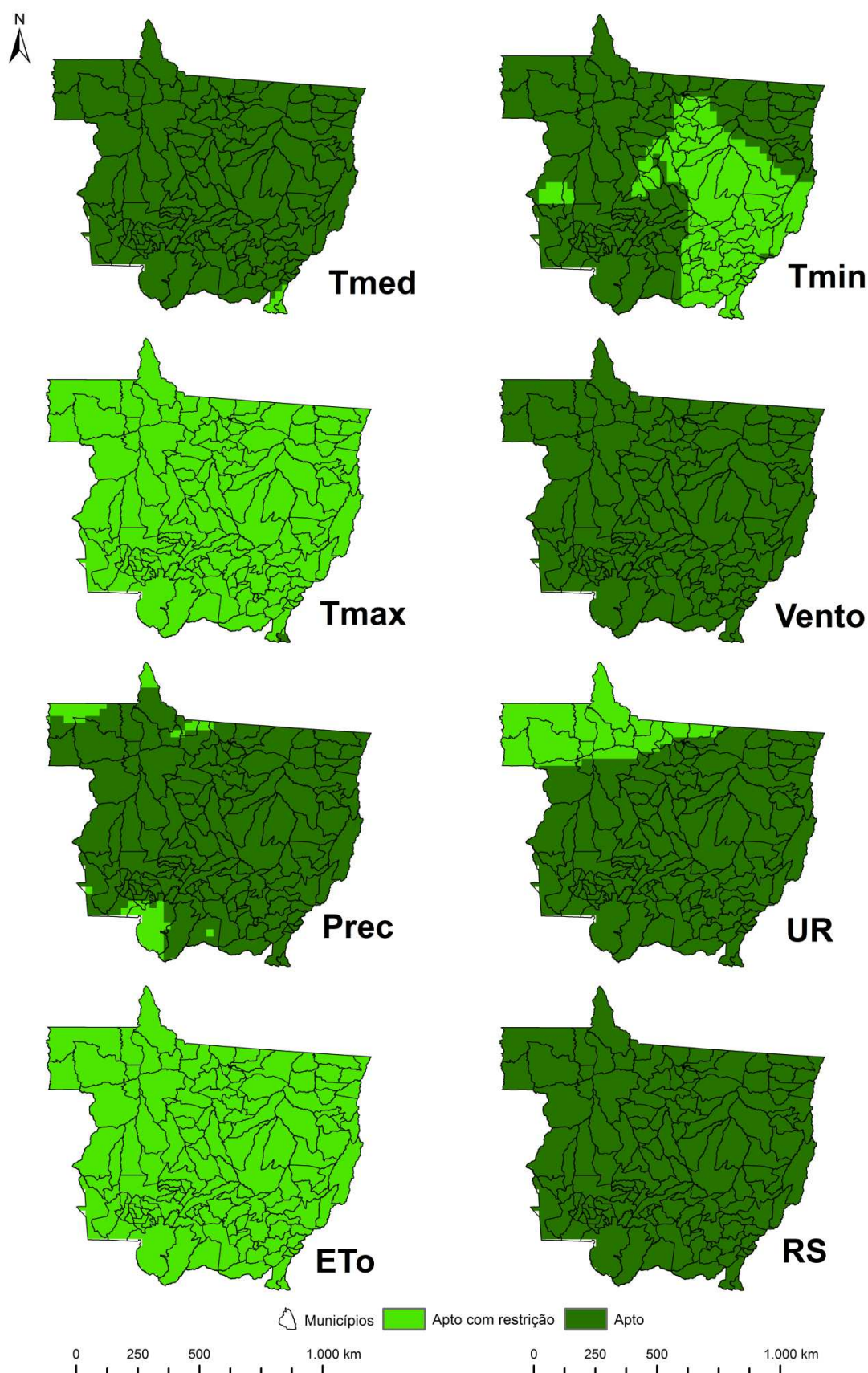


Figura 6: Aptidão climática para *Tectona grandis* no Estado de Mato Grosso, em que: T = temperatura ($^{\circ}\text{C}$); Prec = precipitação pluviométrica (mm); velocidade do vento (m s^{-1}); UR = umidade relativa do ar (%); ETo = evapotranspiração potencial (mm); RS = radiação solar (MJ m^{-2}); med = média; min = mínima; max = máxima.

A temperatura média apresenta restrição no sul do Estado, ao passo que a temperatura mínima restringe do centro ao sudeste e, a temperatura máxima e a evapotranspiração potencial apresentam restrições em todo Estado.

A precipitação pluviométrica restringe na região sudoeste (pantanal) e no extremo norte, assim como a umidade relativa do ar. Velocidade do vento e radiação solar não apresentaram áreas com restrição.

Quanto às variáveis climáticas obtidas a partir do balanço hídrico climatológico, verificou-se que o excesso hídrico poderá comprometer o crescimento e produção da teca em regiões do centro ao norte do Estado (Figura 7). Na região central e a sudeste há restrições causadas pela deficiência hídrica, que se acentua no extremo leste. Nestas regiões, estendendo ainda ao sudeste, observou-se que a duração da estação seca, definida pelo número de meses com precipitação pluviométrica abaixo de 50 mm, restringe o cultivo da teca. A evapotranspiração real foi a variável climática mais restritiva, principalmente, nas regiões sul e sudoeste.

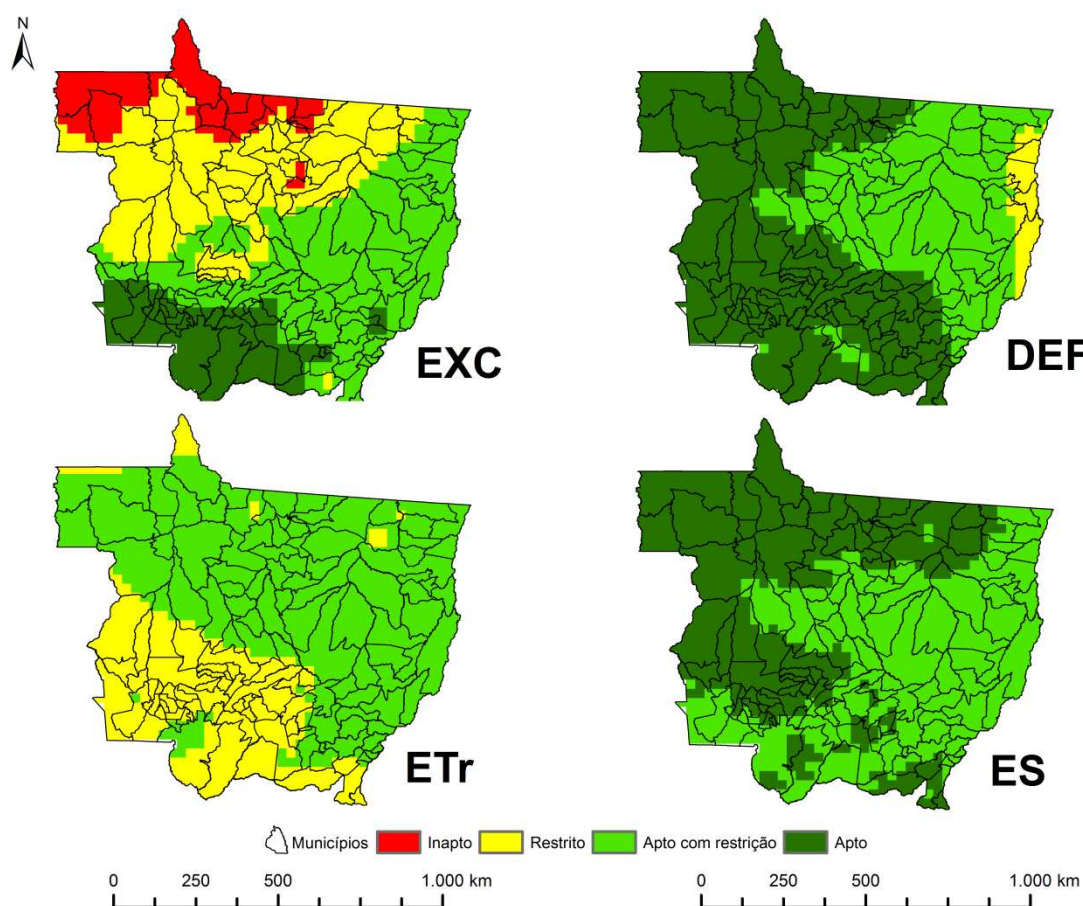


Figura 7: Aptidão climática para *Tectona grandis* no Estado de Mato Grosso, em que: EXC = excesso hídrico (mm); DEF = deficiência hídrica (mm); ETr = evapotranspiração real (mm); ES = duração da estação seca (meses).

A equação (10) utilizada para obtenção dos coeficientes das variáveis que compõem o modelo climático, conforme com a metodologia proposta por Saaty (1977), apresentou índice de consistência menor que 0,1. Isso demonstra que os julgamentos foram consistentes e que não houve violação dos princípios que regem a metodologia de processo analítico hierárquico (AHP).

$$Y = (0,0278\text{temperatura máxima} + 0,0278\text{umidade relativa do ar} + 0,0278\text{vento} + 0,0278\text{evapotranspiração potencial} + 0,0833\text{temperatura mínima} + 0,0833\text{radiação solar} + 0,0833\text{evapotranspiração real} + 0,0833\text{temperatura média} + 0,1389\text{excesso hídrico} + 0,1389\text{precipitação} + 0,1389\text{deficiência hídrica} + 0,1389\text{estação seca}) \quad (10)$$

A definição dos pesos (Tabela 3) deu-se pelo grau de importância de cada variável climática para o crescimento e produção da teca e também pelo grau de restrição destas.

Neste modelo, a variável climática precipitação, duração da estação seca, deficiência e excesso hídrico representaram individualmente 13,89% no zoneamento e foram consideradas fortemente mais importantes do que as demais, de acordo com a metodologia proposta por Saaty (1977). Temperatura média e mínima, evapotranspiração real e radiação solar representaram individualmente 8,33% do zoneamento e foram consideradas moderadamente mais importantes que temperatura máxima, umidade relativa do ar, velocidade do vento e evapotranspiração potencial, que participaram individualmente no modelo com 2,78%.

As estatísticas obtidas na espacialização das variáveis classificadas previamente, conforme as exigências climáticas da cultura da teca, bem como a distribuição das classes de aptidão são apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12: Estatísticas e classes de aptidão do zoneamento climático para *Tectona grandis* no Estado de Mato Grosso.

Estatísticas				Aptidão (%)			
Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Apto	Apto com restrição	Restrito	Inapto
2,58	3,33	2,98	0,15	19	51	22	8

As classes de aptidão foram definidas pelas seguintes estatísticas:

- Apto: $> 3,13$
- Apto com restrição: 2,98 a 3,13
- Restrito: 2,84 a 2,98
- Inapto: $< 2,84$

O mapa espacializado e reclassificado gerado pelo modelo climático das variáveis que compõem o zoneamento para a cultura da teca no Estado de Mato Grosso encontra-se na Figura 8, respectivamente.

Verificou-se que aproximadamente 90% da área territorial do Estado de Mato Grosso é apta ao cultivo da teca, muito embora possa oferecer algum tipo de restrição climática de forma moderada (51%) ou mais severa (22%). Apenas em 8% da área territorial o cultivo da espécie não seria recomendado, principalmente, em decorrência de excesso ou deficiência hídrica.

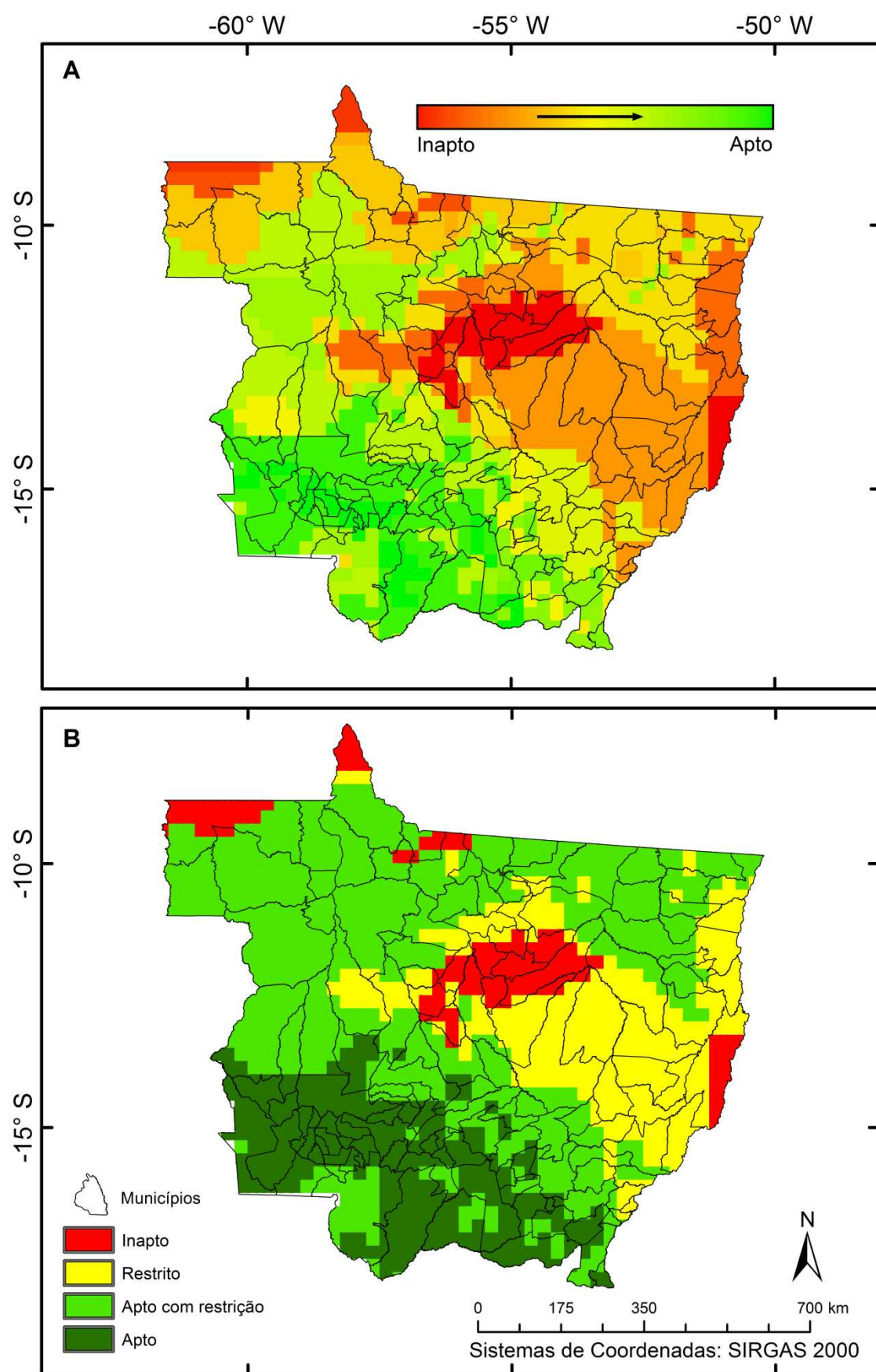


Figura 8: Zoneamento climático para *Tectona grandis* no Estado de Mato Grosso, sendo: A = variáveis espacializadas e B = variáveis reclassificadas.

3.2 Potencial produtivo: zoneamento edáfico

As variáveis edáficas foram mais restritivas ao cultivo da teca no Estado de Mato Grosso, se comparadas com as variáveis climáticas (Tabela 13).

Tabela 13: Espacialização das variáveis edáficas (%) para *Tectona grandis* no Estado de Mato Grosso.

Variável	Apta	Apta com restrição	Restrita	Inapta
Classe de solo	3	62	24	11
Textura	33	25	24	17
Profundidade efetiva	53	24	13	10
Drenagem	49	31	4	16

Poucas são as classes de solos que não restringem o cultivo da teca (3%). Entre estas, destacam-se os Chernossolos Argilúvicos, Argissolos Vermelho-Amarelos Eutróficos, Argissolos Vermelhos Eutróficos e Neossolos Flúvicos Tb Distróficos. Já as classes aptas, porém, com algum tipo de restrição compreendem 62% do total, sendo, Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos, Latossolos Vermelhos Distróficos, Latossolos Vermelhos Distroféricos, Nitossolos Vermelhos Distróficos, Argissolos Amarelos Distróficos, Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos e Argissolos Vermelhos Distróficos.

Solos do tipo Cambissolos Háplicos Tb Eutróficos, Plintossolos Pétricos, Plintossolos Háplicos Distróficos, Planossolos Háplicos Eutróficos e Neossolos Quartzarênicos Órticos podem restringir significativamente em algumas fases do crescimento da cultura da teca. Juntas, estas classes totalizaram 24% da área territorial do Estado. Já as classes de solos Afloramentos de Rochas, Cambissolos Háplicos Tb Distróficos, Gleissolos Háplicos Tb Distróficos, Organossolos Háplicos, Neossolos Litólicos Distróficos e Planossolos Nátricos (11%) foram consideradas inaptas ao cultivo da teca já que apresentam restrições quanto à profundidade efetiva, textura e drenagem podendo influenciar negativamente o crescimento e produção.

Solos que apresentam textura média e favorecem o cultivo da teca compreendem 33% da área territorial do Estado. Já solos com textura média/argilosa e argilosa/média (25%), apesar de serem aptos, oferecem algum tipo de restrição. Solos com textura arenosa/argilosa, arenosa/média, argilosa, argilosa/muito argilosa (24%) são considerados restritos ao cultivo da teca, ao passo que, solos com textura indiscriminada, arenosa, média/média cascalhenta, muito argilosa e afloramento de rochas (17%) foram considerados inaptos.

Quanto à profundidade efetiva, a maior parte da área territorial do Estado (77%) é apta ao cultivo da teca, pois, compreendem solos muito profundos (>200 cm) ou profundos (100 a 200 cm). Apenas 13% são pouco profundos (50 a 100 cm) e restringem o cultivo da teca e 10% são rasos tornando inapto o cultivo da espécie.

Solos com boa, acentuada ou moderada drenagem e que oferecem pouca ou nenhuma restrição ao cultivo da teca totalizam 80% da área territorial. Solos imperfeitamente drenados (4%) foram considerados restritos, ao passo que aqueles excessivamente drenados, mal drenados e muito mal drenados (16%) são inaptos ao cultivo da teca.

A espacialização das classes de aptidão edáficas para o cultivo da teca no Estado de Mato Grosso pode ser visualizada na Figura 9.

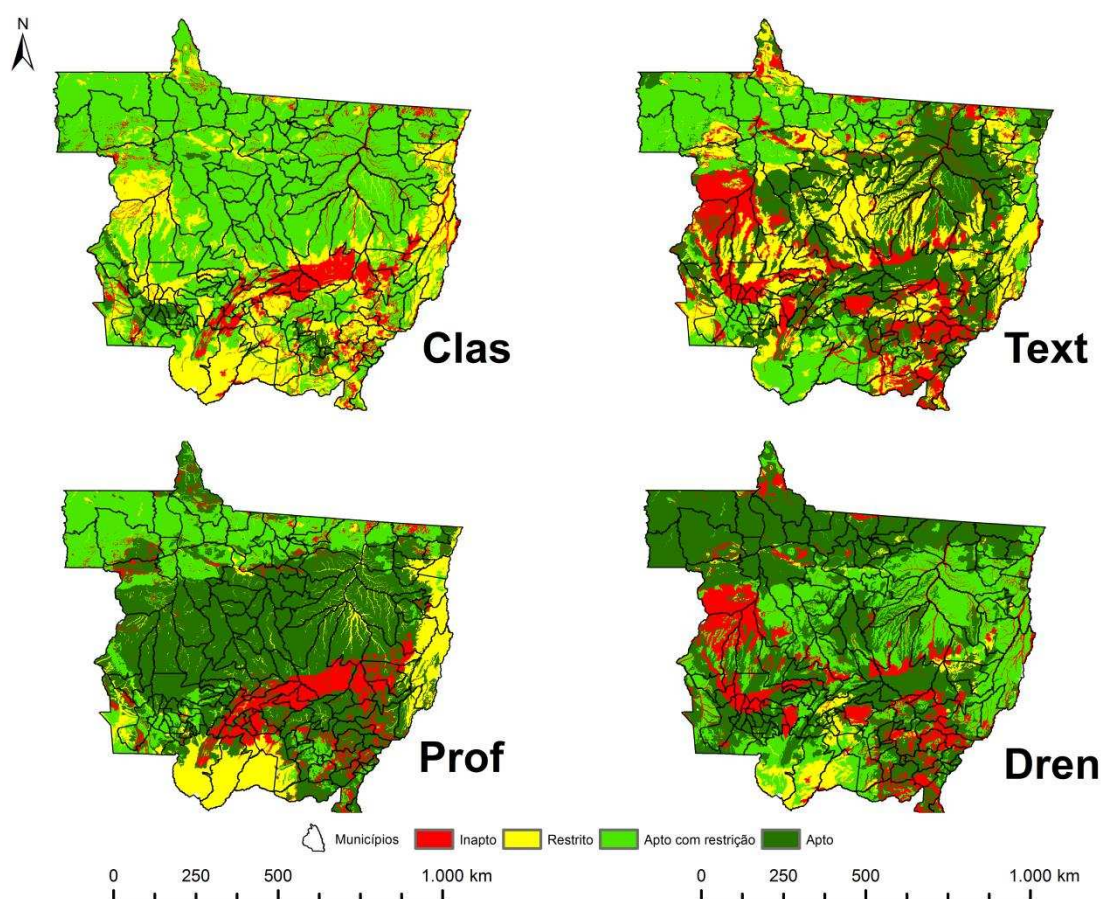


Figura 9: Aptidão edáfica para *Tectona grandis* no Estado de Mato Grosso, em que: Clas = classe de solo; Text = textura; Prof = profundidade efetiva e Dren = drenagem.

A equação (11) utilizada para obtenção dos coeficientes das variáveis que compõem o modelo edáfico, conforme a metodologia proposta por Saaty (1977), apresentou índice de consistência menor que 0,1 (0,048). Isso demonstra que os

julgamentos foram consistentes e que não houve violação dos princípios que regem a metodologia de processo analítico hierárquico (AHP).

$$Y = (0,0715drenagem + 0,2143profundidade\ efetiva + 0,3571textura + 0,3571classe\ de\ solo) \quad (11)$$

A definição dos pesos das variáveis (Tabela 6) deu-se pelo grau de importância relativa, pelo grau de restrição e pela análise de sensibilidade das variáveis que compõem o modelo.

As variáveis textura e classe de solo representaram 35,71% na construção do zoneamento, sendo consideradas fortemente mais importantes em relação às demais, conforme metodologia proposta por Saaty (1977). Profundidade efetiva, com peso de 21,43%, foi considerada moderadamente mais importante que a drenagem, que por sua vez, participou em 7,15% na construção do zoneamento edáfico.

O mapa espacializado e reclassificado gerado pelo modelo edáfico das variáveis que o compõem para construção deste zoneamento para o cultivo da teca no Estado de Mato Grosso encontra-se na Figura 10.

Na Tabela 14 encontram-se estatísticas da espacialização das variáveis classificadas conforme as exigências edáficas e a distribuição em classes de aptidão.

Tabela 14: Estatísticas e classes de aptidão do zoneamento edáfico para *Tectona grandis* no Estado de Mato Grosso.

Estatísticas				Aptidão (%)			
Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Apto	Apto com restrição	Restrito	Inapto
1,07	3,79	2,89	0,65	23	38	29	10

As classes de aptidão foram definidas pelas seguintes estatísticas:

- Apto: > 3,54
- Apto com restrição: 2,89 a 3,54
- Restrito: 2,89 a 2,24
- Inapto: < 2,24

Conforme o zoneamento edáfico, verificou-se que 61% da área territorial do Estado de Mato Grosso é apta ou apta com restrição ao cultivo da teca. Contudo, em 29% há restrições que podem influenciar o crescimento e a produção de modo negativo e, em 10% da área territorial o cultivo da teca seria inviável.

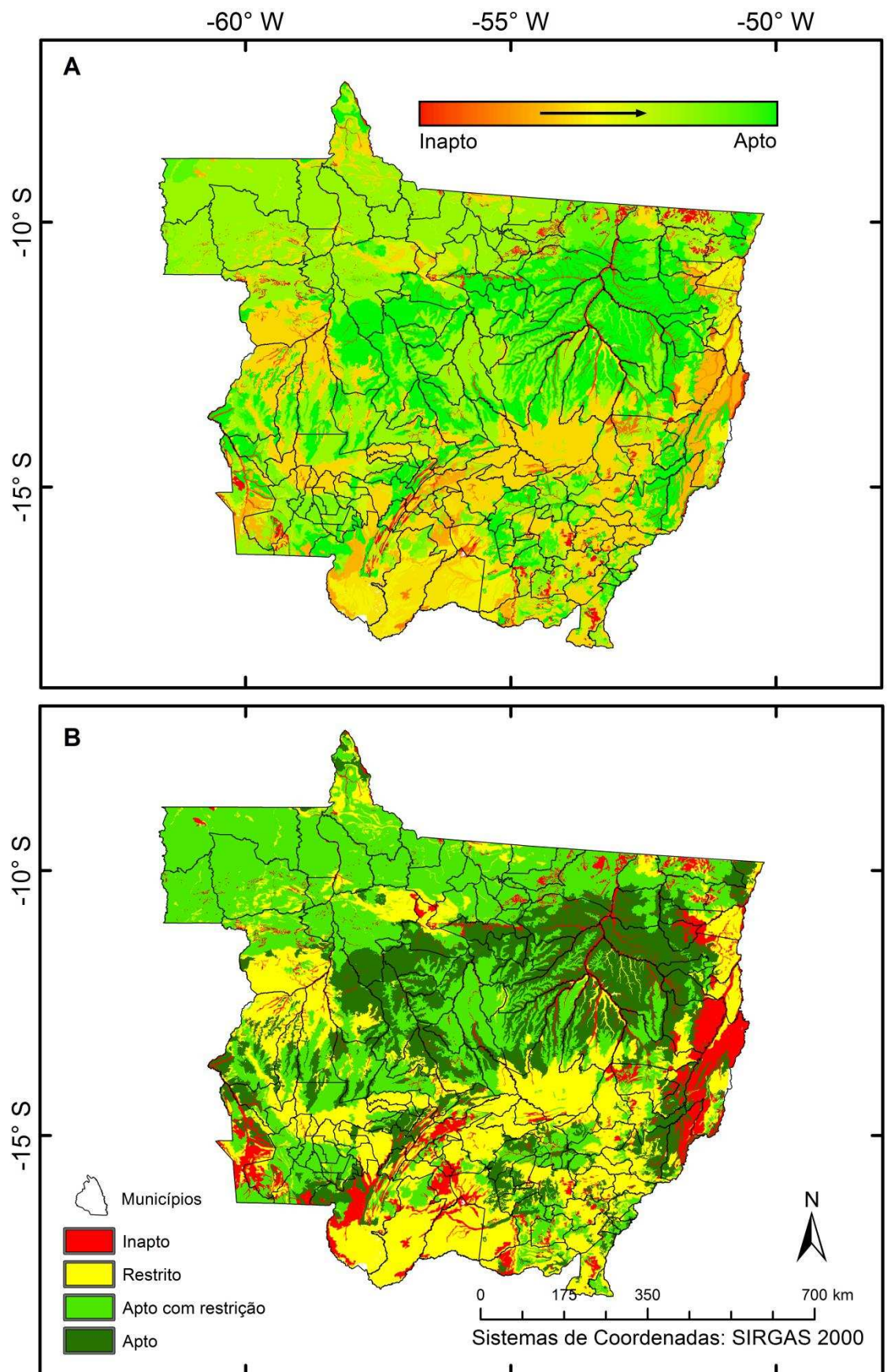


Figura 10: Zoneamento edáfico para *Tectona grandis* no Estado de Mato Grosso, sendo:
A = variáveis espacializadas e B = variáveis reclassificadas.

3.3 Potencial produtivo: zoneamento fisiográfico

Verificou-se que no Estado de Mato Grosso as restrições fisiográficas para o cultivo da teca são mais pronunciadas se comparadas às climáticas (Tabela 15).

Tabela 15: Espacialização das variáveis edáficas (%) para *Tectona grandis* no Estado de Mato Grosso.

Variável	Apta	Apta com restrição	Restrita	Inapta
Altitude	58	36	6	0
Inclinação do terreno	82	14	3	1
Exposição do terreno	26	24	25	25
ITW	11	29	51	9

Considerando a variável altitude, em 58% da área territorial não há restrições para o cultivo da teca e em 36 % verificou-se restrições, porém moderadas. Em apenas 6% há restrições que podem influenciar o crescimento e produção da espécie em estudo. Quanto à inclinação do terreno, em apenas 17% da área territorial verificou-se algum tipo de restrição. Já para a exposição do terreno verificou-se semelhança na distribuição da área territorial por classe de aptidão (em torno de 25%). Verificou-se que o índice topográfico de umidade (ITW) foi a variável fisiográfica mais restritiva ao cultivo da teca em Mato Grosso. Em apenas 11% da área territorial não há restrições, ao passo que em 80% há restrições, sejam elas moderadas (29%) ou mais severas (51%). Em 9% da área territorial não se recomenda o cultivo.

A espacialização das classes de aptidão fisiográfica para o Estado de Mato Grosso está apresentada na Figura 11.

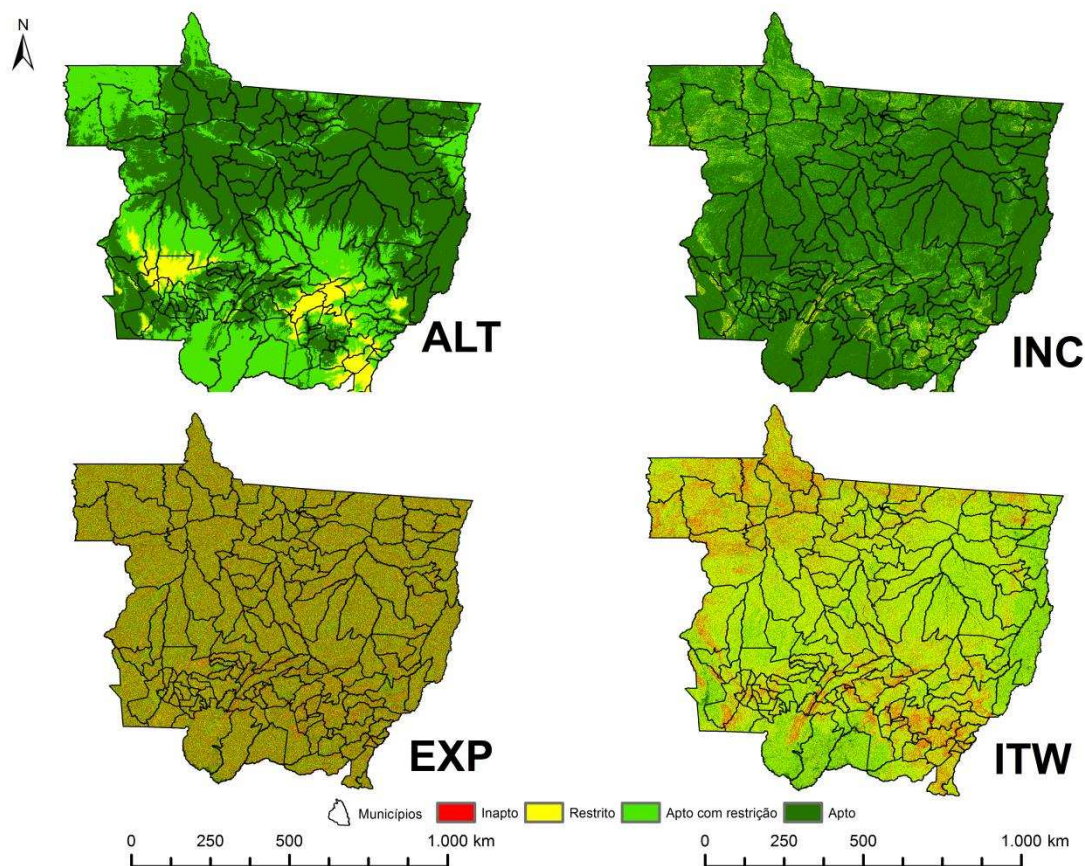


Figura 11: Classes de aptidão fisiográfica para *Tectona grandis* no Estado de Mato Grosso, em que: Alt = altitude; Inc = inclinação do terreno; Exp = exposição do terreno e ITW = índice topográfico de umidade.

Os coeficientes das variáveis que compõem o modelo fisiográfico foram obtidos a partir da equação (12), conforme metodologia proposta por Saaty (1977), que apresentou índice de consistência menor que 0,1 (0,00), o que demonstra que os julgamentos foram consistentes e que não houve violação dos princípios que regem a metodologia de processo analítico hierárquico (AHP).

$$Y = (0,1429\text{exposição} + 0,1429\text{inclinação} + 0,2857\text{ITW} + 0,4286\text{altitude}) \quad (12)$$

A definição dos pesos das variáveis fisiográficas (Tabela 9) deu-se pelo grau de importância relativa, grau de restrição ao cultivo da teca e pela análise de sensibilidade.

As variáveis exposição e inclinação do terreno contribuíram individualmente com 14,29% na construção do zoneamento, sendo consideradas de mesmo grau de importância. A variável altitude foi considerada mais importante que as demais, contribuindo em 42,86% na construção do modelo e o ITW contribuiu com 28,57%, com grau de importância intermediário. Na Figura 12 encontram-se os mapas dos zoneamentos fisiográfico especializado e reclassificado.

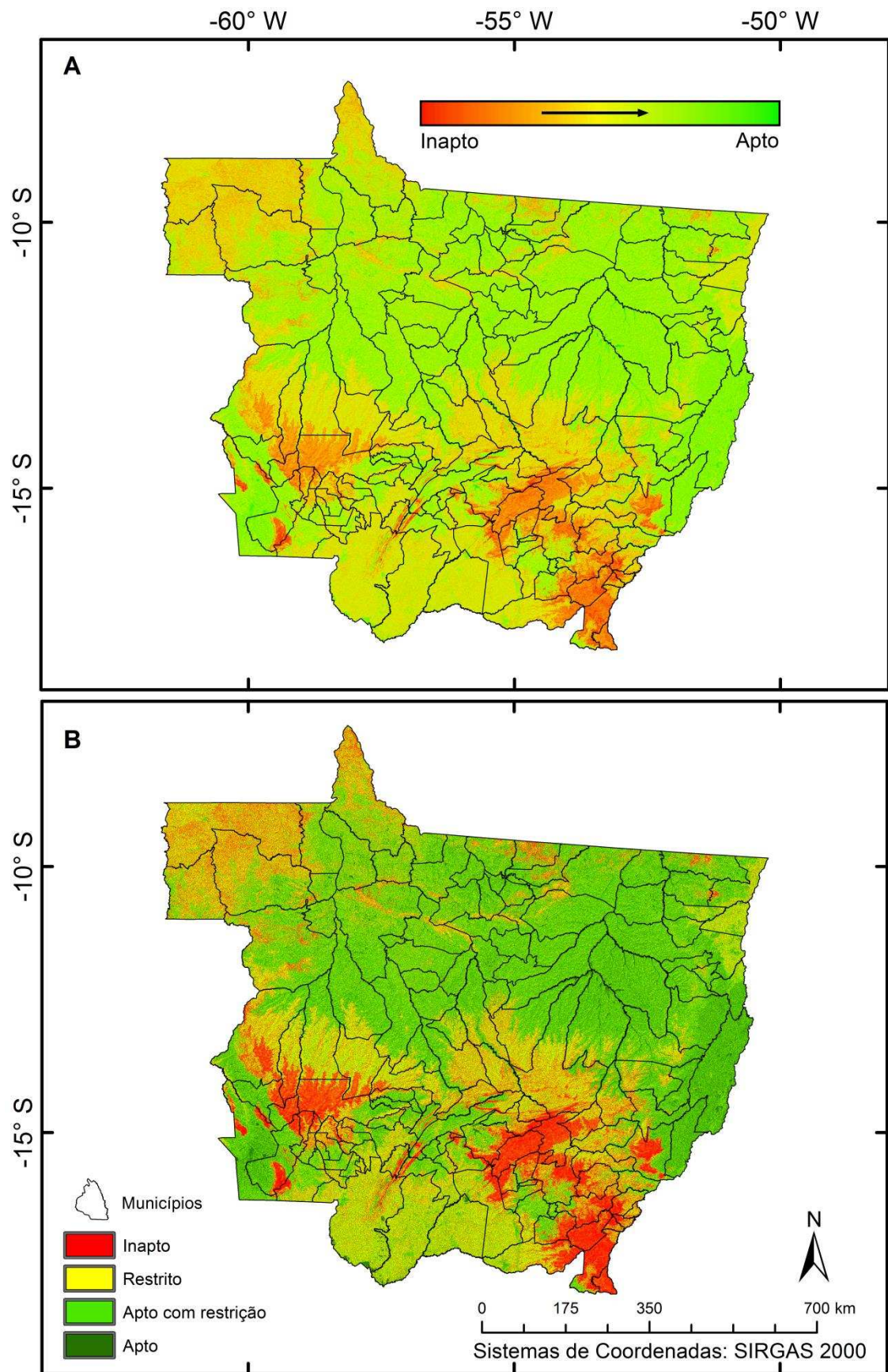


Figura 12: Zoneamento fisiográfico para *Tectona grandis* no Estado de Mato Grosso, sendo: A = variáveis espacializadas e B = variáveis reclassificadas.

As estatísticas obtidas na espacialização das variáveis classificadas previamente conforme as exigências fisiográficas da cultura da teca e utilizadas para definição das classes de aptidão encontram-se na Tabela 16.

Tabela 16: Estatísticas e classes de aptidão do zoneamento fisiográfico para *Tectona grandis* no Estado de Mato Grosso.

Estatísticas				Aptidão (%)			
Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Apto	Apto com restrição	Restrito	Inapto
1,43	4,00	3,10	0,41	16	39	31	14

As classes de aptidão foram definidas pelas seguintes estatísticas:

- Apto: > 3,51
- Apto com restrição: 3,10 a 3,51
- Restrito: 3,10 a 2,69
- Inapto: < 2,69

De acordo com o modelo utilizado para a construção do zoneamento fisiográfico, verificou-se que 16% da área territorial do Estado de Mato Grosso não apresentam restrições ao cultivo da teca. Em 39% apresentam restrições moderadas sem prejuízo ao seu cultivo e em 31% há restrições que podem influenciar o crescimento e produção de modo negativo. Somente em 14% da área territorial o cultivo da teca não é recomendado.

3.4 Potencial produtivo: zoneamento climático+edáfico+fisiográfico

Os coeficientes das variáveis que compõem o modelo climático+edáfico+fisiográfico foram obtidos a partir da equação (13), conforme metodologia proposta por Saaty (1977). O índice de consistência foi menor que 0,1 (0,00), demonstrando que não houve violação dos princípios que regem a metodologia de processo analítico hierárquico (AHP).

$$y = 0,01ITW + 0,01exposição + 0,01inclinação + 0,01umidade\ relativa\ do\ ar + 0,03estação\ seca + 0,03radiação\ solar + 0,03excesso\ hídrico + 0,03temperatura\ média + 0,05evapotranspiração\ potencial + 0,05evapotranspiração\ real + 0,05deficiência\ hídrica + 0,05vento + 0,07temperatura\ máxima + 0,07temperatura\ mínima + 0,07precipitação + 0,07altitude + 0,09drenagem + 0,09classe\ de\ solo + 0,09profundidade\ efetiva + 0,09textura \quad (13)$$

A definição dos pesos (Tabela 10) deu-se pelo grau de importância relativa, pelo grau de restrição e pela análise de sensibilidade das variáveis que compõem o modelo.

No modelo climático+edáfico+fisiográfico, as variáveis ITW, exposição e inclinação do terreno e umidade relativa do ar foram consideradas de mesmo grau de importância e contribuíram com 1% cada, na construção do referido modelo.

A variável duração da estação seca, radiação solar, excesso hídrico e temperatura média foram consideradas importantes entre si, porém mais importantes que as anteriores. Estas contribuíram com 3% cada uma na construção do zoneamento.

Deficiência hídrica, evapotranspiração potencial, evapotranspiração real e velocidade do vento foram consideradas mais importantes que as anteriores e igualmente importante entre si, contribuindo com 5% na construção do zoneamento.

Já temperatura máxima e mínima, precipitação e altitude contribuíram cada uma com 7% na construção do zoneamento, sendo consideradas importantes entre si e muito fortemente mais importantes que aquelas já citadas.

As variáveis edáficas, drenagem, classe de solo, profundidade efetiva e textura, considerados igualmente importantes entre si e extremamente mais importantes que aquelas já citadas, contribuíram em 36% na construção do zoneamento.

As estatísticas obtidas na espacialização das variáveis classificadas conforme as exigências climáticas, edáficas e fisiográficas da cultura da teca e utilizadas para definição das classes de aptidão estão apresentadas na Tabela 17.

Tabela 17: Estatísticas e classes de aptidão do zoneamento climático+edáfico+fisiográfico para *Tectona grandis* no Estado de Mato Grosso.

Estatísticas				Aptidão (%)			
Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Apto	Apto com restrição	Restrito	Inapto
2,44	3,66	3,25	0,24	12	51	16	21

Para definição das classes de aptidão utilizou-se as seguintes estatísticas:

- Apto: > 3,49
- Apto com restrição: 3,25 a 3,49
- Restrito: 3,25 a 3,01
- Inapto: < 3,01

Na Figura 13 encontram-se os mapas dos zoneamentos climático+edáfico+fisiográfico espacializado e reclassificado.

A exatidão ou concordância (desempenho global) entre o potencial produtivo apontado pelo zoneamento climático+edáfico+fisiográfico com dados de produtividade de plantações de teca no Estado de Mato Grosso apresentou baixa exatidão (25 e 17%) quando se comparou a classe inapta ao cultivo da teca (zoneamento) com aquelas de menor capacidade produtiva e a classe apta com a de maior capacidade. Por outro lado, verificou-se uma exatidão de 71% na comparação entre as classes apta com restrição e restrita com aquelas de média capacidade produtiva (Tabela 18). A precisão apontada pelo índice Kappa foi considerada ruim.

Tabela 18: Desempenho Global (DG) (%) e índice Kappa entre as classes de produtividade observadas e estimadas pelo zoneamento climático+edáfico+fisiográfico, obtidos na matriz de confusão.

Potencial Produtivo		Dados observados			Índice Kappa
		Menor	Média	Maior	
Zoneamento	Inapto	25	51	24	0,04
	Apto com restrição ou Restrito	25	71	4	
	Apto	25	58	17	

Apesar das estatísticas de exatidão e precisão serem pouco expressivas, deve-se considerar que o potencial produtivo apontado pelo zoneamento é seguro e, que a metodologia baseada no processo analítico hierárquico é apropriada, uma vez que foram consideradas as exigências climáticas, edáficas e fisiográficas da espécie em estudo para definição do zoneamento. Além disso, deve-se considerar que os dados observados não representam a variabilidade dessas variáveis ambientais no Estado de Mato Grosso.

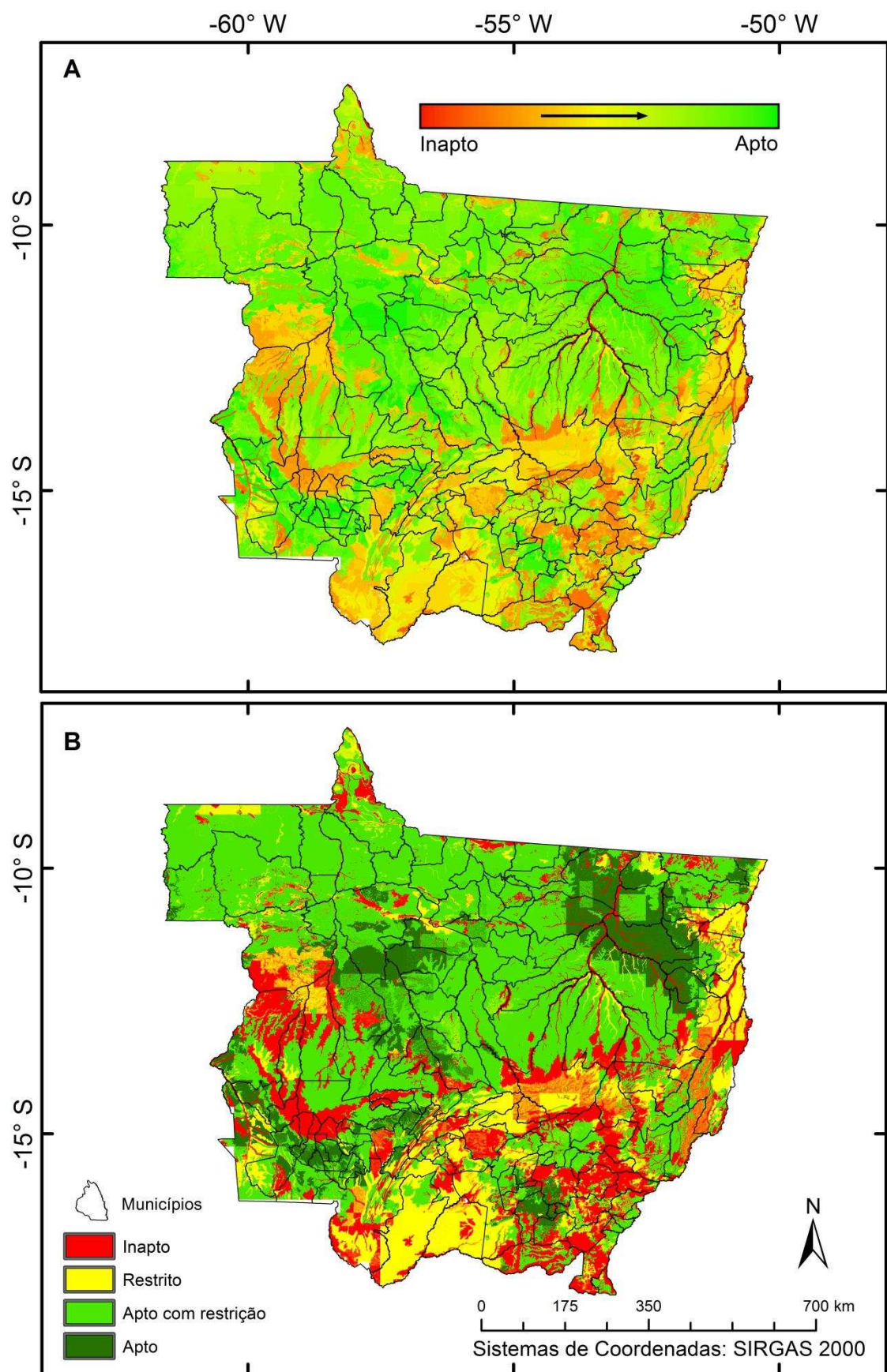


Figura 13: Zoneamento climático+edáfico+fisiográfico para *Tectona grandis* no Estado de Mato Grosso, sendo: A = variáveis espacializadas e B = variáveis reclassificadas.

3.5 Potencial produtivo: modelagem

Verificou-se a eficiência das RNA para prognose da produtividade e para expressar o potencial produtivo da teca para locais onde havia dados observados de IMA_{12} , no Estado de Mato Grosso.

O coeficiente de correlação ($R_{y\hat{y}}$) e raiz quadrada do erro médio (RQEM) entre os dados observados e estimados pela RNA foi de 2,8% e 0,88. A distribuição dos dados observados e estimados e a análise gráfica do resíduo encontram-se na Figura 14.

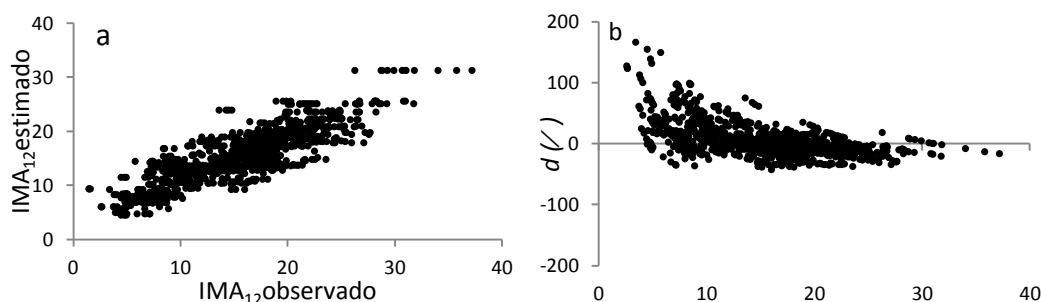


Figura 14: IMA_{12} observado versus IMA_{12} estimado (a) e distribuição percentual do resíduo (d) da RNA treinada para prognose da produtividade da teca no Estado de Mato Grosso (b), sendo: IMA_{12} = incremento médio anual na idade de 12 anos.

As estatísticas obtidas na espacialização das variáveis classificadas conforme as exigências climáticas, edáficas e fisiográficas da cultura da teca e utilizadas para definição das classes de aptidão encontram-se na Tabela 19.

Tabela 19: Estatísticas do incremento médio anual e classes de produtividade aos 12 anos de idade para *Tectona grandis* no Estado de Mato Grosso.

Estatísticas IMA_{12} ($m^3 ha^{-1} ano^{-1}$)				Classe de produtividade (%)		
Mínima	Máxima	Média	Desvio Padrão	Maior	Média	Menor
1,73	37,21	19,5	9,26	18	62	20

Para definição das classes de aptidão utilizou-se as seguintes estatísticas:

- Maior produtividade: $> 28,76$
- Média produtividade: 10,24 a 28,76
- Menor produtividade: $< 10,24$

Através da matriz de confusão (Tabela 20) verificou-se um desempenho global (DG) ou concordância de 93% entre dados observados e estimados pela RNA para

classes de aptidão de menor produtividade. 7% dos dados conflitaram entre as classes de produtividade média (dados observados) e menor produtividade (RNA).

Tabela 20: Desempenho Global (DG) (%) e índice Kappa entre as classes de produtividade observadas e estimadas pela RNA, obtidos na matriz de confusão.

Produtividade		Dados observados			Índice Kappa
		Menor	Média	Maior	
RNA	Menor	93	7	0	0,63
	Média	13	76	11	
	Maior	0	20	80	

Para classe de produtividade média o DG foi de 76%, sendo que, 13% conflitaram entre as classes de menor produtividade (dados observados) e produtividade média (RNA) e 11% entre àquelas de maior produtividade (dados observados) e produtividade intermediária (RNA). Nas classes de maior produtividade 80% dos dados concordaram, porém, 20% conflitaram entre as classes de produtividade média (dados observados) e de maior produtividade (RNA).

O índice Kappa observado foi de 0,63, indicando que houve precisão entre as classes de produtividade observada e estimada pela RNA.

Os mapas espacializado e reclassificado que expressam o potencial produtivo da teca para Mato Grosso, através da modelagem (RNA) estão apresentados na Figura 15.

Observou-se que a amplitude de variação da produtividade estimada para a idade de 12 anos é expressiva ($35 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), demonstrando o efeito do local sobre o crescimento e produção.

De acordo com o mapa, verificou-se que áreas de maior produtividade ($\text{IMA}_{12} > 28 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) concentram-se a sul, oeste e noroeste do Estado, abrangendo 18% da área territorial. Por outro lado, áreas de menor produtividade ($\text{IMA}_{12} < 10 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) abrangeram 20% da área territorial e concentraram-se na porção centro-leste. As demais regiões apresentam produtividade intermediária, com abrangência de 62% da área territorial.

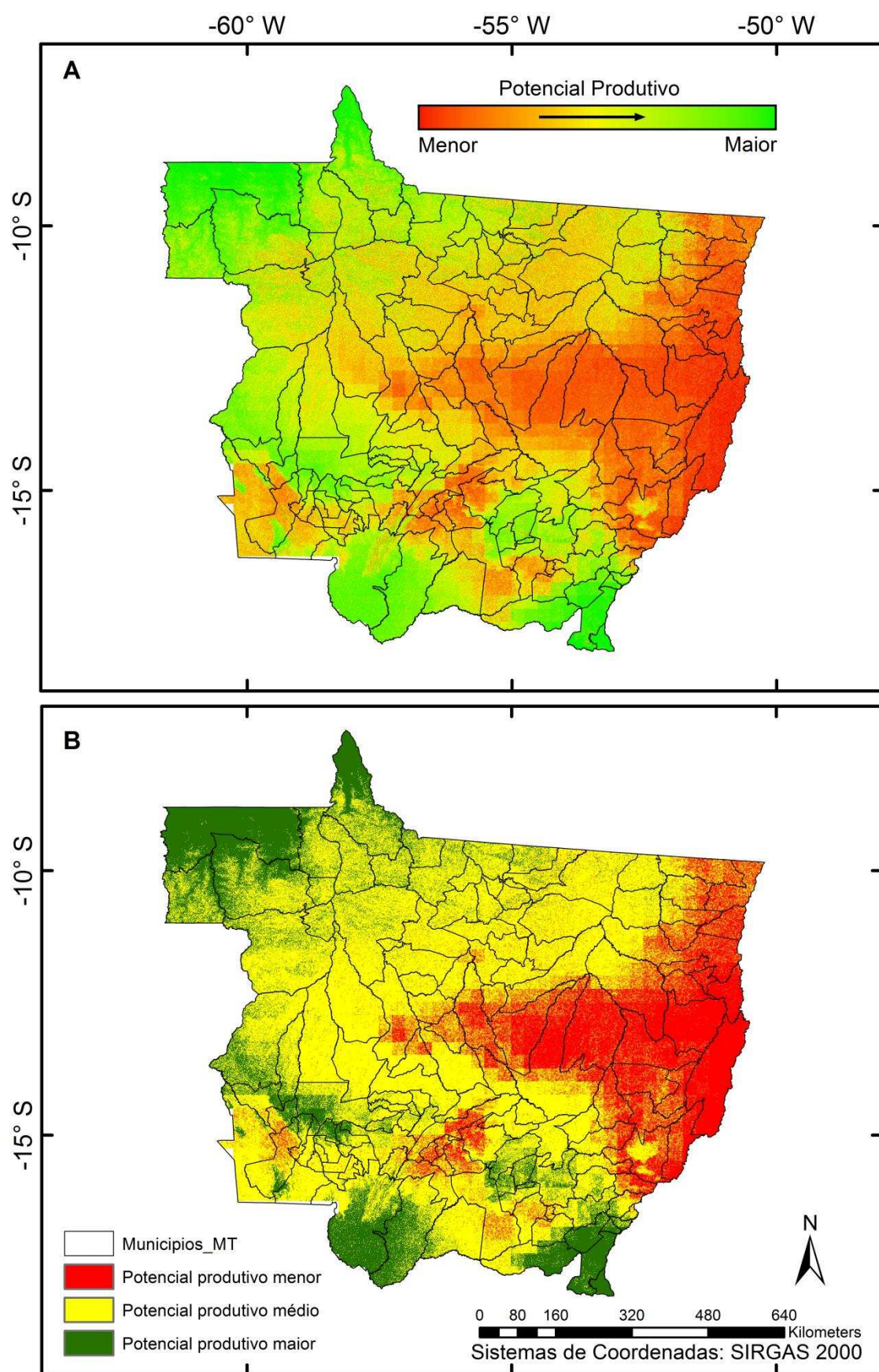


Figura 15: Produtividade de *Tectona grandis* para o Estado de Mato Grosso, conforme modelagem por RNA, sendo: A = variáveis especializadas e B = variáveis reclassificadas.

Na Figura 16 é apresentado o potencial produtivo da cultura da teca para o Estado de Mato Grosso (mapa espacializado e classificado), expresso pela modelagem por RNA dos dados climáticos, edáficos e fisiográficos.

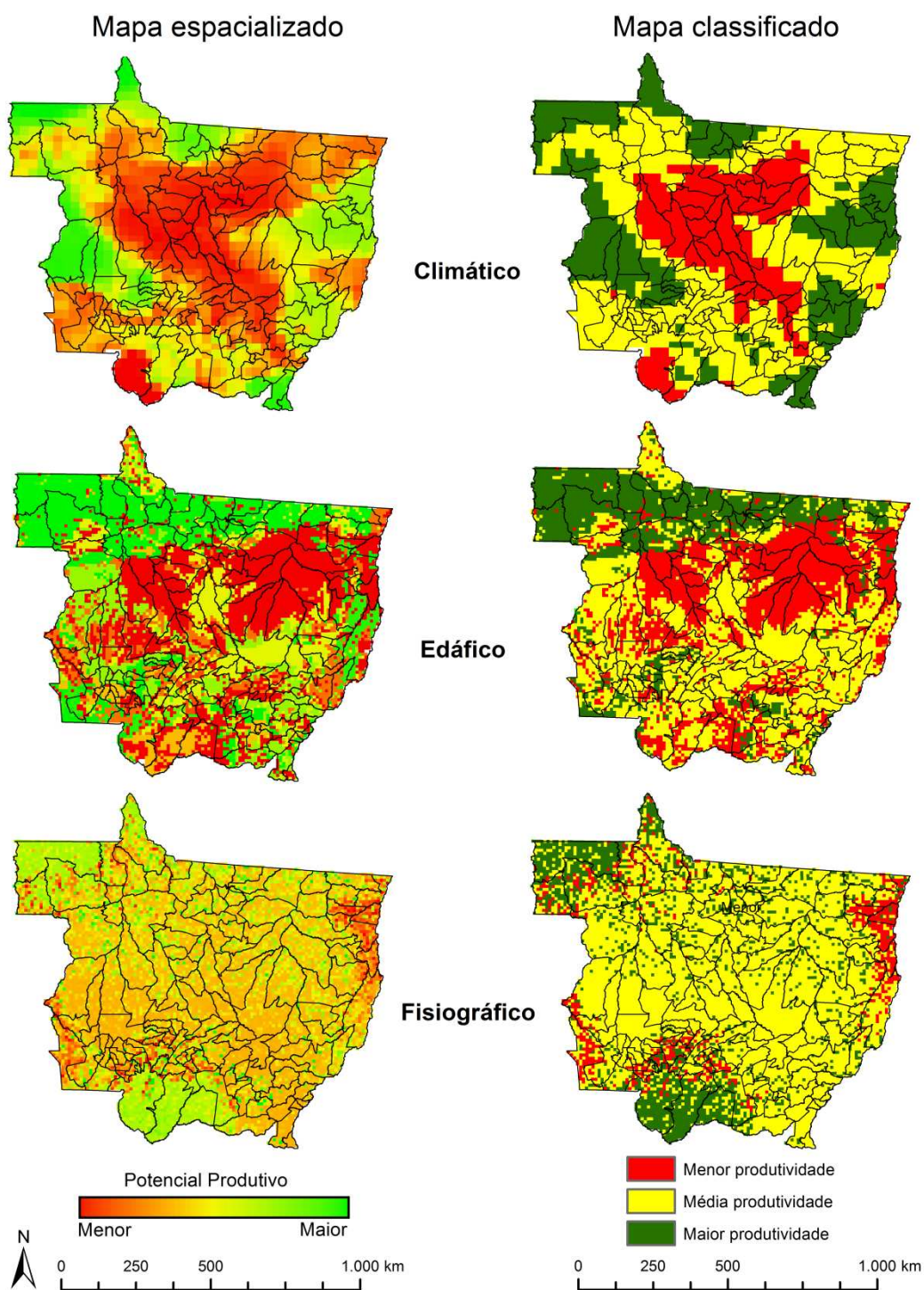


Figura 16: Produtividade de *Tectona grandis* para Estado de Mato Grosso, conforme modelagem por RNA dos fatores climáticos, edáficos e fisiográficos.

Observou-se que o clima influencia negativamente o potencial produtivo da cultura da teca na região central e ao sul do Estado, sendo que as áreas de maior potencial estão localizados nos extremos leste, noroeste, nordeste, norte, sudoeste e sudeste. Já os fatores edáficos indicaram áreas de maior potencial concentradas ao norte e em regiões dispersas de modo aleatório em todo Estado, assim como aquelas de menor potencial, porém, mais concentradas na região central. Fatores fisiográficos identificaram áreas de maior potencial ao sul e noroeste e em pontos aleatórios no Estado. Aquelas de menor potencial estão a nordeste, sudoeste, centro-sul e em pontos aleatórios.

Contudo, acredita-se que as estimativas geradas pela RNA, que expressam o potencial produtivo da cultura da teca em Mato Grosso poderiam ser mais eficientes se o banco de dados utilizado para treinamento fosse mais representativo de todas as regiões do Estado. Neste trabalho, o grade de pontos com dados observados de IMA₁₂ representam 0,12% do grid de pontos com dados das variáveis ambientais que abrange todo o Estado.

Na Figura 17 são ilustradas as regiões do Estado cujas características das variáveis ambientais estavam ausentes ou presentes no banco de dados utilizado para treinamento da RNA. Excetuando-se a profundidade efetiva do solo, nas demais variáveis ambientais estudadas o banco de dados não contemplava todas as informações pertinentes, principalmente nas variáveis classes de solo, drenagem, textura, altitude, temperaturas e excesso hídrico.

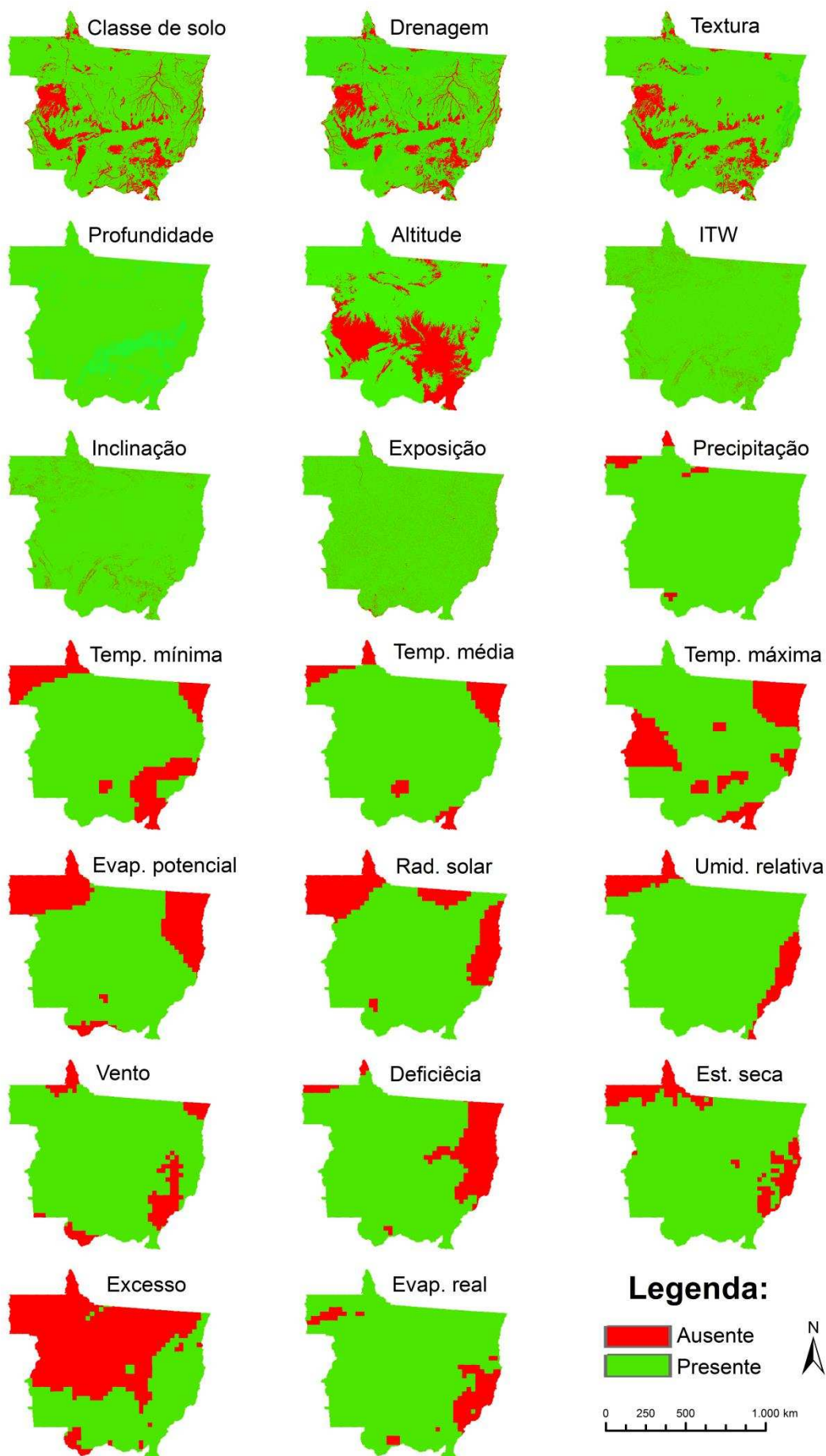


Figura 17: Participação das variáveis ambientais no treinamento da RNA para estimativa do IMA_{12} para *Tectona grandis* no Estado de Mato Grosso.

4 DISCUSSÃO

4.1 Potencial produtivo: zoneamento

É fato que os fatores climáticos (radiação, temperatura, precipitação e velocidade do vento), edáficos (solo, material de origem), geográficos (posição geográfica, altitude, topografia), entre outros (bióticos e fogo) em uma relação complexa, influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas, sobretudo de indivíduos arbóreos, fazendo com que estes possuam modos diferenciados de crescimento e produção de acordo com a capacidade produtiva do local (TOUMEY; KORSTIAN, 1949; BILLINGS, 1952; CAMPOS, 1970).

É fato também que escolha de locais apropriados ao cultivo da teca tem sido uma das preocupações do setor florestal de Mato Grosso, visto que variações locais podem proporcionar respostas diferentes entre materiais genéticos, em decorrência da interação do genótipo com o ambiente. E que para que um material genético possa expressar seu potencial os sites deveriam ser selecionados de modo a atender as suas demandas ecológicas (climáticas, edáficas e fisiográficas) e silviculturais (manejo, material genético) (CARMO et al., 1990; CAMARGO et al., 2003; FAO, 2009).

Também é fato considerar que estudos científicos que apontem o potencial produtivo da cultura da teca, com base em informações climáticas, edáficas, fisiográficas e de produtividade são pontuais, escassos ou incipientes. Como consequência, escolha de sites baseada em conhecimento empírico, na experiência do administrador florestal ou em informações técnicas de outras espécies florestais, pode levar a baixas produtividades (LEITE et al., 2006).

De acordo com Golfari (1975) e Soares et al. (2015), estudos dessa natureza deveriam ou devem ser os primeiros passos a serem adotados na implantação de um povoamento florestal, pois, segundo Golfari et al. (1978), o clima condiciona a possibilidade de adaptação e de cultivo de um genótipo, enquanto o solo regula o nível de produção. Concordando com estes autores, verificou-se que o clima do Estado de Mato Grosso oferece poucas restrições à adaptação da teca, ao passo que fatores edáficos e fisiográficos têm restringido o seu cultivo.

Ao considerar a relação complexa entre as variáveis ambientais, Toumey e Korstian (1949), Billings (1952) e Campos (1970) comentaram que o processo de escolha de sites deve-se basear em um conjunto de variáveis e não somente em uma ou outra, já que ambas, isoladamente, podem levar a conclusões pouco precisas. Além disso, o efeito de uma variável ambiental pode ser modificado por outra (SOARES et al., 2015). Nesse contexto, zoneamento foi uma das técnicas utilizadas para este fim,

uma vez que delimita regiões aptas, restritas ou inaptas ao cultivo da teca, com base em fatores climáticos, edáficos e fisiográficos, de forma a potencializar o crescimento e a produção (OMETTO, 1981; SANTOS et al., 2015). Além disso, pode ser um instrumento de orientação e suporte técnico para tomada de decisão (LUPPI, 2014), pois fornece informações ambientais que podem auxiliar no planejamento e implantação de empreendimentos florestais, onde devem ser elencados todos os fatores e suas relações que exercem influência sobre o crescimento e a produção vegetal (PAIVA; VITAL, 2008).

As equações utilizadas para obtenção dos coeficientes das variáveis que compõem o modelo climático, edáfico, fisiográfico e climático+edáfico+fisiográfico, ajustadas conforme com a metodologia proposta por Saaty (1977), apresentaram índice de consistência menor que 0,1, o que demonstra que os julgamentos foram consistentes e que não houve violação da proporcionalidade e transitividade dos julgamentos (FARIA; AUGUSTO FILHO, 2013).

De acordo com o zoneamento climático, cerca de 70% da área territorial do Estado de Mato Grosso é apta ou apta com restrição ao cultivo da teca sem prejuízo econômico ao seu crescimento e produção. Observou-se que na região sudoeste concentram-se áreas mais aptas ao cultivo. Também é o local onde se concentram a maioria das plantações de teca no Estado (FAMATO, 2013), o que sugere que locais escolhidos para plantio da teca no Estado foram selecionados levando em consideração, principalmente, fatores climáticos.

Considerando as exigências climáticas da espécie (Tabela 2), construída de acordo com informações de Golfari et al. (1978), Keogh (1987), Kaosa-Ard (1989, 1995), Lamprecht (1990), Weaver (1993), Pandey e Brown (2000), Cáceres Florestal (2006), Pelissari et al. (2014) e Midgley et al. (2015), verificou-se que apenas a deficiência e o excesso hídrico e a evapotranspiração real são variáveis restritivas ao cultivo comercial da teca, sobretudo o excesso hídrico que foi a única variável a indicar áreas inaptas. As demais variáveis favorecem o crescimento e a produção da teca, podendo haver restrições moderadas, sem prejuízo econômico ao crescimento e produção.

Por estar localizado em região tropical, a radiação solar incidente sobre o Estado de Mato Grosso não é limitante ao crescimento de plantas (SANTANA et al., 2008), sobretudo para espécies pioneiras, como a teca, que é altamente exigente em luz (PELISSARI et al., 2014). Santana et al. (2008) comentam que a produção de uma floresta é determinada pela quantidade de radiação solar interceptada pela copa e pela

eficiência de conversão dessa radiação em massa e que essa eficiência é influenciada pela disponibilidade de água e nutrientes.

Variáveis relacionadas à água, como a precipitação, a umidade relativa do ar e a evaporação são fatores importantes que influenciam a distribuição, ocorrência, crescimento e produção das árvores e florestas e é essencial em todos os processos vitais das árvores (TOUMEY; KORSTIAN, 1949; MARENCO; LOPES, 2011). Barros e Comerford (2002) e Stape et al. (2004) comentam que água e nutrientes são os principais fatores que limitam a produtividade florestal e afetam a eficiência da utilização de recursos e alocação de massa.

Quanto à restrição imposta pelo excesso hídrico, os resultados sugerem que este é decorrente de índices pluviométricos acima de 2000 mm ano⁻¹ e evapotranspiração potencial menor na região de ocorrência, se comparada a outras regiões (Figura 2). De acordo com a FAO (2009), apesar de uma correlação positiva entre precipitação e crescimento da teca, não se recomenda plantações em áreas com elevados índices pluviométricos e sem uma estação seca definida. O excedente de água no solo acima de sua capacidade de água disponível (CAD), dependendo da duração, pode causar a "síndrome de teca" (teak syndrome), que é a morte de árvores provocada, sobretudo, pela asfixia no sistema radicular (MARENCO; LOPES, 2011).

A deficiência hídrica no solo, a nordeste de Mato Grosso, pode ser explicada pela alta radiação, que ocasiona maior evapotranspiração potencial, decorrente de maiores valores de temperatura média e máxima. Aliado a isso, nota-se menor precipitação na região e o que pode levar a uma estação seca prolongada, o que para a cultura da teca é ruim, pois, uma seca muito prolongada pode provocar morte de árvores ou de ponteiros (meristema apical) (RYAN, 1982; WEAVER, 1993).

Klippel et al. (2013) verificaram que no Estado do Espírito Santo 66,7% de sua área territorial é inapta ao cultivo da teca, devido à temperatura média abaixo da exigida pela espécie e a deficiência hídrica no solo. Macedo et al. (2005) comentam que o déficit hídrico é um dos principais fatores limitantes ao crescimento inicial da teca. Já Leite et al. (1999) recomendam que em locais onde haja falta de água no solo o cultivo de espécies florestais seja feito em menores densidades populacionais.

Quanto à evapotranspiração real, o sudeste do Estado é a região com maior restrição ao cultivo da teca. Notou-se que nesta região ocorrem os menores índices pluviométricos e também presença de ventos com maior velocidade. Aliado a isso e, concordando com Caldato e Schumacher (2013), as condições ambientais, como,

radiação solar, relevo plano, baixa altitude, menor umidade relativa do ar e temperatura também favoreceram o aumento da evapotranspiração nessa região.

Ainda sobre a abordagem climática, a FAO (2009) aponta a duração da estação seca (período com 3 a 5 meses, em que não exista um excedente ou déficit substancial de água no solo) como um critério importante, não desprezível, na escolha de novas áreas para plantios de teca. Esta estação é caracterizada por precipitações mensais abaixo de 50 mm (KEOGH, 1987; KAOSA-ARD, 1989, 1995; RONDON NETO et al., 1998; FAO, 2009). Nesta pesquisa, verificou-se que esta variável não é restritiva ao cultivo da teca no Estado de Mato Grosso.

Ao contrário do zoneamento climático que pouco restringe o cultivo da teca no Estado de Mato Grosso, o zoneamento edáfico demonstrou haver muitas restrições ao seu cultivo, se considerado classes de solo, textura, profundidade efetiva e drenagem. Apesar disso, Tonini et al. (2009) e Pelissari et al. (2014) comentam que a teca se desenvolve em uma grande variedade de solos e formações geológicas. Por outro lado, Golfari et al. (1978) comentam que as características edáficas são limitantes à produção.

A literatura é vasta quanto às publicações relativas às exigências edáficas da cultura da teca (MATRICARDI, 1989; LAMPRECHT, 1990; WHITE, 1991; WEAVER, 1993; RONDON NETO et al., 1998; PANDEY; BROWN, 2000; CÁCERES FLORESTAL, 2006; FAO, 2009; ALVARADO; MATA, 2013; ARIAS, 2013; PELISSARI et al., 2014; MIDGLEY et al., 2015) que inclusive, subsidiaram a construção da Tabela 5, que foi utilizada na construção do zonemaneto edáfico.

Conforme os autores citados, a teca é exigente a solos profundos, livre de impedimentos físicos, boa permeabilidade. Devem ser bem drenados e arejados, pois a teca é muito sensível a deficiência de oxigênio. Os solos de textura média, com predominância de areia sobre argila e estrutura granular e em blocos subangular são os mais indicados. Solos muito úmidos ou secos, pouco profundos (<90 cm), compactados, muito argilosos ou arenosos são restritivos ao seu cultivo.

Reitera-se que a variável fertilidade, embora importante, não foi considerada neste estudo uma vez que esta pode ser manejada de forma a atender as demandas nutricionais da cultura da teca. Gonçalves et al. (1990) comentam que o crescimento e a produtividade dos povoamentos florestais estão mais relacionados com as propriedades físicas do que com as propriedades químicas do solo, o que demonstra a importância dessas propriedades na escolha de locais apropriados a cultivo da teca.

De acordo com o zoneamento edáfico, neste trabalho verificou-se que as regiões centro-sul e extremos leste e oeste são mais restritivas ao cultivo, onde predominam

uma maior variabilidade de classes de solos que não são recomendados ao cultivo da teca. Solos do tipo Cambissolos Háplicos Tb Eutróficos, Plintossolos Pétricos, Plintossolos Háplicos Distróficos, Planossolos Háplicos Eutróficos, Neossolos Quartzarênicos Órticos, Cambissolos Háplicos Tb Distróficos, Gleissolos Háplicos Tb Distróficos, Organossolos Háplicos, Neossolos Litólicos Distróficos e Planossolos Nátricos (Figura 4) oferecem restrições ao cultivo de espécies florestais, como a teca, sejam elas relacionadas à textura, à estrutura, ao relevo, à fertilidade, à drenagem e à profundidade efetiva (SANTOS et al., 2013a; 2013b). Apesar disso, nessa região também se encontram solos aptos ao cultivo, como os Chernossolos Argilúvicos, Argissolos Vermelho-Amarelos Eutróficos, Argissolos Vermelhos Eutróficos e Neossolos Flúvicos Tb Distróficos.

Menezes (2005) ao avaliar a produtividade de plantações de eucalipto na região centro leste de Minas Gerais relacionando-a com características do sítio e integradas mediante o conceito de classe e por um modelo de qualidade de solo, utilizando modelos processuais, verificou que classe de solo definido pelo menos até o 4º nível categórico, aliada a fatores fisiográficos, é indicadora de produtividade de eucalipto.

Contudo, há de se considerar que a distribuição das classes de solos em classes de aptidão foi um exercício didático, baseado em dados científicos e técnicos e, não significa que a espécie não possa ser cultivada em solos com maior restrição. Como exemplos, Medeiros et al. (2015) verificaram, aos 36 meses de idade, que plantas clonais e seminais de teca, em monocultivo e sistema taungya, apresentaram incrementos semelhantes em relação a outros plantios, quando cultivada em um Cambissolo Háplico Tb Eutrófico léptico. Nesta pesquisa, estes solos foram considerados restritos ao cultivo da teca, por apresentarem características físicas desfavoráveis ao cultivo, em virtude da ocorrência de fragmentos de rochas na massa de solo. Contudo, estas rochas constituem reservas de nutrientes, o que pode favorecer o crescimento da teca (TONINI et al., 2009; SANTOS et al., 2013b).

Castro et al. (2010) avaliaram influência de solos muito arenosos (Neossolos Quartzarênicos), solos com problemas de drenagem (Gleissolos e Planossolos Háplicos), solos jovens e muito jovens e bem drenados (Cambissolos e Neossolos Litólicos) e solos maduros, com horizonte B textural, bem drenados (Argissolos Vermelhos e Argissolos Vermelho-Amarelos) sobre o incremento médio anual em volume (IMA) de eucaliptos no Estado do Rio Grande do Sul e verificaram que não havia diferença significativa entre Argissolos, Cambissolos e Neossolos Litólicos, que diferenciaram dos Gleissolos e Planossolos Háplicos e diferenciando de todos os

Neossolos Quartzarênicos. Apesar de não haver diferenças significativas entre os primeiros, os Argissolos Vermelho-Amarelos, Cambissolos e Neossolos Litólicos são mais restritivos ao cultivo do eucalipto por serem menos profundos, menos férteis, menor capacidade de armazenamento de água e maior potencial de erosão, se comparados aos Argissolos Vermelhos (CASTRO et al., 2010; SANTOS et al., 2013b).

Além das classes de solo, nesta pesquisa analisaram-se as variáveis textura, profundidade efetiva e drenagem para construção do zoneamento. Carvalho et al. (1999) comentam que a classe de solo agrega informações importantes que poderiam restringir o crescimento e a produção de espécies florestais, como as estudados nesta pesquisa, sendo importante o detalhamento das informações contidas nessas variáveis.

Observou-se que 55% da área territorial de Mato Grosso é apta ou apta com restrição ao cultivo da teca quanto à textura, sendo que a distribuição no Estado não segue um padrão definido (Figura 9).

Rocha (2014) comenta que a textura pode ser considerada, individualmente, como a característica que mais influencia na capacidade produtiva dos povoamentos florestais, já que influencia outras variáveis, como a estrutura do solo, a capacidade de retenção de água, a consistência, a drenagem e as reações de troca entre o sistema radicular e o complexo coloidal (GONÇALVES et al., 1990; CARVALHO et al., 1999). No caso da teca, solos de textura média têm sido os mais recomendados ao seu cultivo (MATRICARDI, 1989; RONDON NETO et al., 1998; PANDEY; BROWN, 2000; CÁCERES FLORESTAL, 2006; ARIAS, 2013; PELISSARI et al., 2014; MIDGLEY et al., 2015).

Em solos argilosos ou siltosos, o crescimento das árvores é beneficiado pelo suprimento favorável de água e nutrientes (TOUMEY; KORSTIAN, 1949). Contudo, Ralston (1964; 1967) citados por Gonçalves et al. (1990) comentam que esta relação é curvilínea e vai até certo ponto, quando o acréscimo de partículas finas compromete a aeração do solo. Solos argilosos, com teores de argila acima de 350 g kg^{-1} , são mais propícios à compactação. Segundo Matricardi (1989), uma concentração acima de 350 g kg^{-1} de argila pode promover efeitos negativos sobre o crescimento da teca. Estes efeitos tornam-se mais acentuados quando os percentuais ultrapassam a 450 g kg^{-1} .

Além disso, solos argilosos apresentam problemas de drenagem, como, baixa permeabilidade e alta capacidade de retenção de água (BEHLING, 2009), o que para a cultura da teca é considerado ruim (RONDON NETO et al., 1998). Macedo et al. (2005) atribuem a compactação dos solos como um dos fatores limitantes ao crescimento inicial de teca. Behling (2009) ao caracterizar o solo de um povoamento de teca, aos 17

e 90 meses de idade, no município de Tangará da Serra-MT verificou predomínio de Argissolos e Nitossolos com teores de argila acima de 600 g kg^{-1} . Também verificou presença de rachaduras na superfície do solo, sistema radicular superficial e presença de raízes mortas, sobretudo na estação seca, principalmente, nos Nitossolos. Isso é atribuído à compactação e drenagem precárias (CARMO et al., 1990; BEHLING, 2009; FAO, 2009; MARENCO; LOPES, 2011).

Por outro lado, em camadas mais profundas, com teores mais elevados de argila, Behling (2009) verificou maiores percentagens de umidade, o que pode ser uma vantagem. Segundo o autor, em observações in loco os plantios de teca em Jangada-MT, localizados na depressão Cuiabana, com solos rasos e menos argilosos, as folhas da teca senescem aproximadamente dois meses antes que nos plantios na região de Tangará da Serra-MT, com solos mais profundos e argilosos.

Outro fator limitante ao cultivo da teca em solos argilosos é a adsorção de fósforo, enxofre e zinco, que dificulta o transporte destes nutrientes no solo, principalmente, pelo predomínio do dreno-solo sobre o dreno-plantas (MEURER, 2007; NOVAIS; MELLO, 2007; NOVAIS et al., 2007).

Solos arenosos apresentam frações granulométricas mais grosseiras, constituídas por quartzo e reduzida capacidade de reter água e atividade química, porém, são mais drenados e com melhor aeração se comparado aos argilosos (MEURER, 2007). Essa drenagem excessiva, característica de solos arenosos, dependendo da duração da estação seca, pode causar prejuízos ao crescimento da teca, como morte de árvores ou de ponteiros (meristema apical) (RYAN, 1982; WEAVER, 1993).

A disponibilidade de água de um solo é um dos fatores que mais determina o crescimento das árvores (GONÇALVES et al., 1990), porém, déficits ou excesso podem influenciar de modo negativo o crescimento e a produção das plantas. Segundo o IBGE (2007), em levantamento de solos realizados em nível de detalhe tem sido comum o mapeamento do solo fases de drenagem, já que estes fornecem informações sobre a rapidez e à facilidade com que a água recebida se escoar, afetando as condições hídricas do solo, definindo períodos que este permanece úmido, molhado ou encharcado.

No presente trabalho, 80% da área territorial do Estado de Mato Grosso são aptas ou aptas com restrições, sem prejuízo econômico ao cultivo da teca considerando a drenagem. De acordo com a Figura 9, notou-se uma relação próxima entre as variáveis textura e drenagem, quanto às áreas inaptas ao cultivo da teca, o que já era esperado.

Castro et al. (2010) avaliaram crescimento do eucalipto em regiões subtropicais do Brasil, verificaram diferenças na produtividade, aos sete anos de idade, em função da

drenagem e textura. Segundo os autores, solos bem drenados apresentaram incremento médio anual superior àqueles com problemas de encharcamento e, ambos foram superiores àqueles muito drenados. De acordo com Paula et al. (2012), em solos mal drenados poderá haver problemas de hipoxia ou anoxia e alteração do pH, da microbiota e da composição da matéria orgânica.

O potencial de crescimento da floresta também apresenta uma relação direta com a profundidade efetiva do solo, notoriamente nas áreas em que os solos apresentam balanços hídricos com elevadas deficiências (GONÇALVES et al., 1990). Nesta pesquisa, 77% da área territorial do Estado de Mato Grosso é apta ou apta com restrição ao cultivo da teca se considerada a profundidade efetiva. Herrera e Alvarado (1998) identificaram a profundidade efetiva do solo e a posição topográfica como fatores que influenciam no crescimento da teca, sendo que as partes baixas do terreno favorecem o crescimento. Gonçalves et al. (2005) e Paiva et al. (2011) recomendam que para florestas com finalidade de produção de madeira, a profundidade efetiva mínima não seja inferior a 50 cm para solos de boa drenagem e maior ou igual a 100 cm para solos com drenagem deficiente.

Apesar da camada superficial do solo (0 a 20 cm) ser muito importante sob o ponto de vista nutricional, por concentrar maior densidade de massa (56,2%), o comprimento (57,4%) e a área radicular específica da teca (57%) (BEHLING et al., 2014) e, considerando que estes valores diminuem com a profundidade, Toumey e Korstian (1949) enfatizam que a profundidade efetiva deve ser o suficiente para que as raízes consigam penetrar livremente no solo, em razoável número, sem impedimentos, garantindo às plantas suporte físico e condições para absorção de água e nutrientes.

Em solos com variações na profundidade efetiva devido à presença de camadas de impedimento físico, como por exemplo o horizonte B textural, plântico, duripã, fragipã e espódico o padrão de crescimento das árvores pode ser afetado (GONÇALVES et al., 1990; SANTOS et al., 2011; 2013a).

Quanto ao zoneamento fisiográfico, 55% da área territorial do Estado de Mato Grosso é apta ou apta com restrições ao cultivo da teca. De acordo com a Figura 12, as áreas inaptas concentram-se mais a sudeste e sudoeste, regiões caracterizadas por altitudes mais elevadas, influenciando as demais variáveis fisiográficas em estudo.

Verificou-se que em apenas 6% da área territorial de Mato Grosso a altitude é restritiva e pode influenciar de modo mais severo o crescimento e a produção da teca.

Toumey e Korstian (1949) e Campos (1970) comentaram que em altitudes mais elevadas o crescimento das árvores pode ser afetado, pois há maior intensidade da

radiação solar, ventos mais fortes, a temperatura do solo diminui, o ar é mais rarefeito, há menor absorção e retenção de calor e solos menos férteis que as partes mais baixas, devido ao processo erosivo. Além disso, Honda (1892), citado por Toumey e Korstian (1949), comenta que a altitude diminui o crescimento em altura, diâmetro e área basal, consequentemente, menor incremento volumétrico, o ciclo de corte pode prolongar-se, já que as plantas demoram mais tempo para alcançar a maturidade, o tronco passa a apresentar uma forma menos cilíndrica e mais neiloíde, a copa desenvolve-se mais próxima ao solo e a proporção de ramos pequenos e galhos aumenta.

Costa et al. (2012) e Mori et al. (2010) relatam que a altitude tem influência na anatomia, composição química e propriedades físicas da madeira. Esses autores constataram que com o aumento da altitude, os elementos de vaso tornam-se mais numerosos, mais estreitos e mais curtos, as fibras tornam-se mais curtas e os raios se tornam menores, os teores de lignina e de extrativos totais e a densidade básica foram maiores em menores altitudes.

Praticamente a inclinação do terreno não oferece restrições ao cultivo da teca no Estado de Mato Grosso. Contudo deve-se considerar, além da posição de um determinado site na encosta, o potencial erosivo local, comprimento da rampa e tipo de solo (CARMO et al., 1990). Toumey e Korstian (1949) comentam que a inclinação em conjunto com outros fatores promove uma série de situações ambientais que refletem na estrutura, dinâmica e composição da paisagem, como, gradientes de umidade no solo entre o topo e a base da vertente; favorecimento do transporte de partículas de solo ao longo do perfil; interferência na organização vertical do dossel, ocasionando variações nos ângulos de penetração e distribuição de luz no interior de florestas; variação no tempo de incidência de radiação durante o ano (mais nas áreas elevadas que nas inferiores) e geração de aspecto de degraus no estrato arbóreo.

Corroborando com informações de Toumey e Korstian (1949), Paula et al. (2012) ao avaliarem a influência de propriedades edáficas sobre a cultura do eucalipto no município de Seropédica-RJ, constataram influência dos atributos edáficos (tipos de solos) e fisiográficos (posição da encosta) na produtividade. Os autores verificaram que o terço superior e médio era caracterizado por Argissolos Vermelho Amarelos e no terço inferior Planossolos Háptico e que a sobrevivência foi maior no terço inferior, beneficiada pela maior umidade do solo. Por outro lado, essa umidade excessiva influenciou na distribuição diamétrica e na área basal, de modo negativo, em relação ao terço médio e superior.

Essas informações têm uma aplicação prática importante no planejamento florestal, na definição de práticas de conservação de solo e água, método de preparo do solo, talhamento e orientação de plantio.

Para a variável exposição do terreno, em todas as classes de aptidão os percentuais foram semelhantes. Contudo, as restrições impostas por esta variável podem não ser tão limitantes, visto que a mesma está intrinsicamente relacionada com a altitude e a inclinação do terreno e estas pouco restringiram o cultivo da espécie. De acordo com Mota (1986) em baixas latitudes a exposição tem pouca importância, mas fora dos trópicos é importante considerar seus efeitos. No hemisfério sul, as encostas norte recebem maior incidência de radiação solar, o que acarreta diferenças no ambiente e afetam os processos geohidroecológicos (TOUMEY; KORSTIAN, 1949).

Entre as variáveis fisiográficas, o índice topográfico de umidade (ITW) foi a que apresentou maior restrição e inaptidão ao cultivo da teca (60%). Idealizado por Beven e Kirkby (1979) este índice leva em consideração a declividade do terreno e a área de contribuição para indicar as áreas com maior umidade potencial dentro de uma bacia hidrográfica (PEI et al., 2010). As condições de umidade também estão associadas à profundidade dos solos, ao grau estrutural e à permeabilidade (LIN et al., 2006).

Por caracterizar zonas de saturação de água superficial e o conteúdo de água nos solos, o ITW apresenta uma alta correlação com drenagem, sendo que em solos bem drenados, o índice varia entre 4 e 5, em solos de drenagem moderada ele varia entre 5 e 7 e em solos mal drenados, os índices oscilam entre 7 e 12 (PRATES et al., 2011). Alves (2008) ao analisar o uso de geotecnologias que permitam a identificação e espacialização de classes de solos, verificou boa relação entre o índice topográfico de umidade e as áreas de maior saturação hídrica. Contudo, o autor salienta que valores altos do ITW, como observados nesta pesquisa, estão associados a canais de drenagem de maior densidade, comum nas classes de solo Argissolos, Planossolos e Nitossolos. O autor sugere também que o ITW possa ser útil no mapeamento de solos florestais.

Quanto ao zoneamento climático+edáfico+fisiográfico, observou-se que a região centro-sul do Estado de Mato Grosso é mais restritiva ao cultivo da teca se comparado com o centro-norte. Naquela região, de acordo com a Figura 13, verificou-se que as restrições impostas pelas variáveis edáficas são expressivas, pela sua maior variabilidade. No modelo que compõe o zoneamento climático+edáfico+fisiográfico estas variáveis apresentaram maiores pesos em relação às demais.

Nessa mesma linha, de acordo com a Figura 12 do zoneamento fisiográfico, nota-se também restrições na região centro-sul do Estado, por concentrar regiões de

maior altitude, que é uma das principais variáveis limitantes ao cultivo da teca. Por outro lado, de acordo com zoneamento climático (Figura 8) a região centro-sul (mais a sudoeste) é apontada como a mais apta ao cultivo da espécie.

Isso sugere que os locais escolhidos para plantio da teca foram selecionados levando em consideração, fatores climáticos. Em tese, isso pode explicar a alta variabilidade da produtividade no Estado (SHIMIZU et al., 2007).

De acordo com as Tabelas 2, 5 e 8, nota-se que a teca possui capacidade de se adaptar a condições ecológicas diferentes daquelas de ocorrência natural. Isto é tido por Camino e Aymerich (2013) e Camino e Morales (2013) como um dos motivos que levaram à expansão do seu cultivo em diversas regiões do mundo, inclusive no Brasil, mais especificamente em Mato Grosso (HIGUCHI, 1979; MATRICARDI, 1989; BEHLING et al., 2014).

No entanto, conforme os resultados obtidos no zoneamento climático, edáfico, fisiográfico e climático+edáfico+fisiográfico e, concordando com Carmo et al. (1990), Gonçalves et al. (1990) e Castro et al. (2010), pode-se dizer que em regiões como o Estado de Mato Grosso, com poucas variações climáticas e fisiográficas, a variabilidade pedológica (classes de solos e suas características) pode ser considerada como estratificador do potencial produtivo de sítios florestais visando o cultivo da teca. O que não seria recomendado para regiões ou locais com relevo acidentado. Por exemplo, na Costa Rica, país que apresenta um relevo bastante montanhoso, Thiele (2008), citado por Camino e Morales (2013), comenta que as variáveis climáticas e fisiográficas correlacionam-se melhor com a qualidade de sítios para cultivo da teca do que variáveis edáficas.

Corroborando com os resultados desta pesquisa, estão aqueles obtidos por Kreitlow et al. (2014), que fizeram uma avaliação geoambiental das terras do município de Cáceres/MT, visando à identificação das áreas aptas e inaptas ao cultivo da teca. Segundo os autores, os fatores morfopedológicos foram os que mais restringiram o cultivo da espécie no município.

Cabe ressaltar que a interpretação dos mapas publicados nesta pesquisa deve ser feita de maneira criteriosa, observando-se a escala de trabalho, o que obviamente impõe um nível de restrição de uso para estes produtos.

Os resultados obtidos na matriz de confusão (Tabela 18) sugerem um refinamento de pesquisas envolvendo correlações entre a produtividade observada e as classes de aptidão (Tabelas 2, 5 e 8). Mais do que isso, é necessário um banco de dados

com informações de produtividade representativas de todas as regiões do Estado, o que não ocorreu neste trabalho.

Também são necessários estudos mais detalhados envolvendo as exigências climáticas, edáficas e fisiográficas com as produtividades das plantações de teca no Estado de Mato Grosso. Nestes estudos devem ser consideradas exigências individuais e as complexas relações entre estas (TOUMEY; KORSTIAN, 1949; BILLINGS, 1952; CAMPOS, 1970), já que o efeito de uma variável ambiental pode ser modificado por outra (SOARES et al., 2015).

4.2 Potencial produtivo: modelagem

Para locais onde havia dados observados de produtividade (IMA_{12}), verificou-se a eficiência das RNA para prognose da produtividade e expressar o potencial produtivo da cultura da teca para o Estado de Mato Grosso, de acordo com correlação entre os valores observados e estimados pela RNA (88%) (Figura 14), resultados do desempenho global (DG) da matriz de confusão e também pelo índice Kappa.

De acordo com Landis e Koch (1977) e Fonseca (2000) o índice Kappa obtido nesta pesquisa (0,63) indica que a precisão ou qualidade da distribuição dos dados nas classes de produtividade foi muito boa, demonstrando confiabilidade e precisão dos dados estimados pela RNA.

O desempenho global (DG) ou concordância de 93, 76 e 80% entre os valores observados e estimados pela RNA para classes de aptidão de menor, média e maior produtividade, respectivamente, sugerem que a qualidade das estimativas da RNA foi muito boa (FONSECA, 2000). A matriz de confusão é a forma de representação da qualidade obtida de uma estimativa, sendo expressa por meio da correlação de informações dos dados observados e estimados (PRINA; TRENTIN, 2015).

Estes resultados corroboram com os resultados de Alcântara (2015), que usou RNA para prognose do crescimento e da produção, com a finalidade de avaliar o potencial produtivo de povoamentos de eucalipto para o Estado de Minas Gerais, considerando variáveis dendrométricas, edáficas, climáticas e fisiográficas. Os resultados obtidos pela autora demonstraram que o emprego de RNA resultou em maior detalhamento e exatidão da produtividade no Estado de Minas Gerais, quando comparado com mapas de produtividade obtidos empregando modelos processuais utilizados por Borges (2012), que desenvolveu um modulador baseado na análise foliar, incorporando os efeitos do solo sobre a produtividade, para uso em modelos ecofisiológicos de crescimento florestal (3PG). Ainda segundo Alcântara (2015), a

produtividade estimada por Borges (2012) é potencial, enquanto a produtividade estimada em seu estudo é real, como no presente trabalho.

Apesar disso, de acordo com a Figura 16, acredita-se que possa haver sub ou superestimava de produtividade, sobretudo para locais onde variáveis ambientais não contemplavam ou estavam ausentes no banco de dados utilizado para treinamento da RNA. Por exemplo, a região a sudeste do Estado, que compreende os municípios de Alto Araguaia, Alto Garças e Alto Taquari (Figura 15) foi considerada de alta produtividade. No entanto, apesar de haver variáveis ambientais favoráveis, nesta região a altitude é superior a 1000 m, o que restringe o cultivo da teca (Tabela 8) (GOLFARI et al., 1978; KAOSA-ARD, 1989; RONDON NETO et al., 1998; PANDEY; BROWN, 2000; PELISSARI et al., 2014; MIDGLEY et al., 2015).

No entanto, ao analisar a base de dados utilizada no treinamento ou aprendizado da RNA, verificou-se que a mesma só apresentava dados de altitudes inferiores a 400 m. Ao estratificar o potencial produtivo da teca para Mato Grosso em função das variáveis climáticas, edáficas e fisiográficas (Figura 17) observou-se que a maior produtividade apontada nessa região é decorrente dos fatores climáticos, já que edáficos e fisiográficos demonstram restrições. Essa informação também foi observada nas Figuras 8, 10 e 12, que tratam do zoneamento climático, edáfico e fisiográfico, elaborados pelo método da AHP.

Análise semelhante poderia ser feita para região noroeste do Estado, onde a RNA estimou como de alta produtividade. Contudo, no banco de dados não continham informações de variáveis importantes, como, excesso hídrico e temperatura mínima (Figura 16), tampouco dados de produtividade e, isso pode ter comprometido o treinamento e a generalização. Essas variáveis ambientais, de acordo com o zoneamento climático estimado pelo método da AHP (Figura 8) apresentam restrições importantes ao cultivo da teca (KAOSA-ARD, 1989; PANDEY; BROWN, 2000; PELISSARI et al., 2014; MIDGLEY et al., 2015). De acordo com as Figuras 12 e 17 fatores fisiográficos também apresentam restrições nessa região.

Por outro lado, na região a sudoeste de Mato Grosso, que compreende o Pantanal Matogrossense verificou-se que a RNA apresentou estimativa de alta produtividade (Figura 15), sendo que fatores fisiográficos (Figura 17) apresentaram maior influência no treinamento das RNA, já que pelo zoneamento edáfico e climático construído pela mesma metodologia apresentaram restrições.

No entanto, de acordo com o zoneamento climático+edáfico+fisiográfico (Figura 13), essa região apresenta restrições ao cultivo da teca, principalmente pelos fatores

edáficos. Além disso, a variável excesso hídrico (Figura 16), considerada limitante ao cultivo da teca, não foi totalmente representada no banco de dados do treinamento da RNA. Apesar das restrições observadas, plantações de teca situadas em regiões com características ambientais similares tem apresentado produtividade coerente àquelas estimadas pela RNA.

Os resultados obtidos demonstram a necessidade de informações representativas de locais e das variáveis ambientais para treinamento de RNA. De acordo com Braga et al. (2000) e Silva Binoti (2010) durante a aprendizagem ou treinamento a RNA extrai as características necessárias para representar a informação contida nos dados e gerar a resposta para determinado problema. Contudo, a coerência das respostas para representar dados desconhecidos está relacionada com a capacidade da RNA treinada de generalizar, ou seja, produzir saídas adequadas para entradas que não estavam presentes durante o treinamento ou aprendizagem.

Os resultados também evidenciam os riscos de extrapolação dos resultados quando se tem um banco de dados restrito. Uma RNA só pode aprender com os casos que estão presentes no banco de dados, o qual deve conter valores mínimos e máximos de cada variável. Caso contrário, não conseguirá generalizar para valores que estão fora do domínio de definição. Se os dados estão desbalanceados, a rede treinada pode ter sua decisão viesada, ou seja, em direção àquela que possui a maioria dos casos (SILVA et al., 2010; DELL STATSOFT, 2015; FREITAS, 2015).

Reitera-se que, apesar das restrições observadas por algumas variáveis, sobretudo édificas, não significa que a espécie não possa ser cultivada. Muito embora estas restrições possam influenciar de modo negativo o crescimento e a produção (GOLFARI et al., 1978). De acordo com Billings (1952), devido às relações complexas existentes entre os fatores ambientais, pode haver compensação de um fator não limitante ao crescimento para outro que apresenta restrições. Conforme já abordado, Medeiros et al. (2015) e Castro et al. (2010) verificaram que o crescimento de teca e eucalipto, respectivamente, em locais com limitações édificas não diferiam daqueles com condições menos restritivas.

Outra ressalva importante que se deve destacar na análise dos mapas apresentados neste trabalho é a escala de trabalho, principalmente àquela relacionada a fatores édáficos (1:250.000) e climáticos, quando considerou-se quadrículas ou células de aproximadamente 28 x 28 km. Além do tamanho da quadrícula, Xavier et al. (2015) comentam que a interpolação dos dados antes de 1995 apresentaram estatísticas inferiores em relação à interpolação após esse período, devido ao menor número de

estações meteorológicas e dados disponíveis. Os autores comentam ainda que a qualidade da interpolação também sofreu influência da variação de período seco e chuvoso ao longo do ano, da amplitude de variação de variáveis, como por exemplo, velocidade do vento, que apresenta valores extremamente altos ou baixos e dos métodos de interpolação.

Também se recomenda pesquisas envolvendo, além dos fatores aqui considerados, o pacote tecnológico adotado na implantação e manejo dos povoamentos, como por exemplo, genótipo, método de preparo de solo, espaçamento inicial de plantio, controle de plantas daninhas, fertilização, desramas e tipo e peso de desbaste.

5 CONCLUSÕES

O potencial produtivo da teca no Estado de Mato Grosso é limitado por fatores edáficos.

Fatores climáticos restringem menos o cultivo da teca no Estado de Mato Grosso, se comparado aos fisiográficos e, principalmente, aos edáficos.

O zoneamento com base na metodologia de Processo Analítico Hierárquico (AHP) é adequado para definir classes de aptidão para a cultura da teca.

Redes Neurais Artificiais são eficientes para expressar o potencial produtivo da cultura da teca para o Estado de Mato Grosso, entretanto, com alguma restrição nos locais onde não há dados observados de produtividade.

Para identificar o potencial produtivo para a cultura da teca em todo o Estado de Mato Grosso por meio de RNA há necessidade de um banco de dados mais abrangente e representativo das condições ambientais.

6 AGRADECIMENTOS

A Associação dos Reflorestadores de Mato Grosso (AREFLORESTA), especialmente, Fausto Takizawa e Cibele Kotsubo pela cooperação e apoio. Às empresas Floresteca, Tectona Agroflorestal, KLM Reflorestadora, Teca do Brasil, Bacaeri Florestal, Companhia Vale do Araguaia (CVA) e à Secretaria de Estado de Planejamento (SEPLAN-MT) pela cooperação e apoio. Aos Professores João Ker e Igor Assis e ao Doutorando Gustavo Marcatti pela contribuição no processamento dos dados. A FAPEMAT pela concessão de bolsa de estudo.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCÂNTARA, A. E. M. **Redes neurais artificiais para prognose do crescimento e da produção de povoamentos de eucalipto em Minas Gerais**. 2015. 92 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. 2015.
- ALVARADO, A.; MATA, R. Condiciones de sitio y la silvicultura de la teca. In: CAMINO, R.; MORALES, J. P. (Ed.). **Las plantaciones de teca en América Latina: mitos y realidades**. Turrialba: CATIE, 2013. p. 54–83.
- ALVES, M. R. **Múltiplas técnicas no mapeamento digital de solos**. 2008. 159 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba-SP. 2008.
- ARAÚJO, R. F.; MATRICARDI, E. A. T.; NAPPO, M. E. Zoneamento ecológico de pequena escala para espécies florestais tradicionais no Distrito Federal. **Floresta**, v. 42, n. 2, p. 421–430, 2012.
- ARIAS, L. A. U. **Teak: new trends in silviculture, commercialization and wood utilization**. Cartago: INFOA, 2013. 568 p.
- BARROS, N. F.; COMERFORD, N. B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. **Tópicos em ciência do solo**, v. 2, p. 487–592, 2002.
- 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-MG. 2009.
- BEHLING, M.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F.; KISHIMOTO, C. B.; SMIT, L. Eficiência de utilização de nutrientes para formação de raízes finas e médias em povoamento de teca. **Revista Árvore**, v. 38, n. 5, p. 837–846, 2014.
- BEVEN, K. J.; KIRKBY, M. J. P. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. **Hydrological Sciences Bulletin**, v. 24, n. 1, p. 43–69, 1979.
- BILLINGS, W. D. The environmental complex in relation to plant growth and distribution. **The Quarterly Review of Biology**, v. 27, n. 3, p. 251–265, 1952.
- BORGES, J. S. **Modulador edáfico para uso em modelo ecofisiológico e produtividade potencial de povoamentos de eucalipto**. 2012. 70 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. 2012.
- BRAGA, A. P.; CARVALHO, A. P. L. F.; LUDEMIR, T. B. **Redes neurais artificiais: teoria e aplicações**. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2000. 262 p.
- BULLINARIA, J. A. **Introduction to neural computation (Level 4/M). Neural computation (Level 3/H)**. Disponível em: <<http://www.cs.bham.ac.uk/~jxb/inc.html>>. Acesso em: 22 mar. 2016.
- CÁCERES FLORESTAL. **Manual do cultivo da teca**. Cáceres-MT, 2006. 32 p.
- CALDATO, S. L.; SCHUMACHER, M. V. O uso de água pelas plantações florestais - uma revisão. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 3, p. 509–518, 2013.
- CAMARGO, Â. P.; MARIN, F. R.; CAMARGO, M. B. **Zoneamento climático da heveicultura no Brasil**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2003. 92 p. (Documentos, 24).
- CAMINO, R.; AYMERICH, J. P. M. La teca en América Latina. In: CAMINO, R.; MORALES, J. P. **Las plantaciones de teca en América Latina: mitos y realidades**. Turrialba: CATIE/FAO, 2013. p. 29–41.

- CAMINO, R.; MORALES, J. P. **Las plantaciones de teca en américa latina: mitos y realidades**. Turrialba: CATIE/FAO, 2013. 392 p.
- CAMPOS, J. C. C. Principais fatores do meio que afetam o crescimento das árvores. **Floresta**, v. 2, n. 3, p. 45–52, 1970.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 4. ed. Viçosa-MG: UFV, 2013. 407 p.
- CARMO, C. A. F. S.; EIRA, P. A.; SANTOS, R. D.; BERNARDI, A. C. C.; GOMES, J. B. V.; OLIVEIRA, R. P.; LUMBRERAS, J. F.; NAIME, U. J.; GONÇALVES, A. O.; FIDALGO, E. C. C.; AGLIO, M. L. D. **Aspectos culturais e zoneamento da pupunha no estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 48p. (Documento, 58).
- CARMO, D. N.; RESENDE, M.; SILVA, T. C. A. Avaliação da aptidão das terras para eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. (Ed.). **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. p. 187–235.
- CARPANEZZI, A. A.; PEREIRA, J. C. D.; CARVALHO, P. E. R.; REIS, A.; VIEIRA, A. R. R.; ROTTA, E.; STURION, J. A.; SILVEIRA, R. A. **Zoneamento ecológico para plantios florestais no estado de Santa Catarina**. Curitiba: EMBRAPA:CNPF, 1988. 100 p. (Documento, 21).
- CARVALHO, A. P.; MENEGOL, O.; OLIVEIRA, E. B.; MACHADO, S. A.; POTTER, R. O.; FASOLO, P. J.; FERREIRA, C. A.; BARTOSZECK, A. Efeito de características do solo sobre a capacidade produtiva de *Pinus taeda*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, v. 39, p. 51–66, 1999.
- CASTRO, F. D. S.; PEZZOPANE, J. E. M.; PEZZOPANE, J. R. M.; CECÍLIO, R. A.; XAVIER, A. C. Zoneamento agroclimático para espécies do genero *Pinus* no estado do Espírito Santo. **Floresta**, v. 40, n. 1, p. 235–250, 2010.
- CASTRO, P. P.; CURI, N.; FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, Á. V.; GUILHERME, L. R. G.; MENEZES, M. D.; ARAÚJO, E. F.; FREITAS, D. A. F.; MELLO, C. R.; SILVA, S. H. G. Química e mineralogia de solos cultivados com eucalipto (*Eucalyptus* sp.). **Scientia Forestalis**, v. 38, n. 88, p. 645–657, 2010.
- COSTA, C.; CALLADO, C.; CORADIN, V.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. Xilema. In: APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. (Ed.). **Anatomia vegetal**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2012. p. 123–146.
- COUTINHO, A. C. **Dinâmica das queimadas no estado do Mato Grosso e suas relações com as atividades antrópicas e a economia local**. 2005. 308 f. Tese (Doutorado em Ciência Ambiental)-Universidade de São Paulo, São Paulo-SP. 2005.
- DELL STATSOFT. Statistica: data analysis software system. Version 13.0.
- Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN 5395). **Escala da força dos ventos de Beaufort**. Disponível em: <https://www.mar.mil.br/dhn/chm/meteo/refer/escala_beaufort.htm>. Acesso em: 23 de mar. 2016.
- DIAS, A. N.; LEITE, H. G.; CAMPOS, J. C. C.; COUTO, L.; CARVALHO, A. F. Emprego de um modelo de crescimento e produção em povoamentos desbastados de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 29, n. 5, p. 731–739, 2005.
- DIAS, M. A.; COELHO NETTO, A. L. A influência da topografia na distribuição de gramíneas em um fragmento de floresta atlântica urbana montanhosa – Maciço da Tijuca/RJ. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 12, n. 2, p. 3–14, 2011.

ENTERS, T. Terrenos, tecnología y productividad de las plantaciones de teca en Asia Sudoriental. **Unasyuva**, v. 51, p. 55–61, 2000.

ESRI - ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **ArcGIS, Professional GIS for the desktop, version 10.1**, 2012.

FAMATO. **Diagnóstico de florestas plantadas do estado de Mato Grosso**. Cuiabá: Instituto Mato-Grossense de Economia Agropecuária (Imea), 2013. 106 p.

FAO. **The future of teak and the high-grade tropical hardwood sector: planted forests and trees**. Roma: ONU, 2009. 47p (Working Paper, FP/44E).

FARDIN, L. P.; DUARTE, D. C. O.; ARAÚJO JÚNIOR, C. A. Determinação de áreas potenciais para plantios de eucalipto utilizando técnicas de análise multicritério. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EUCALIPTO, 3., 2015, Vitória. **Anais...** Vitória: CEDAGRO/CREA-ES, 2015.

FARIA, D. G. M.; AUGUSTO FILHO, O. Aplicação do Processo de Análise Hierárquica (AHP) no mapeamento de perigo de escorregamentos em áreas urbanas. **Revista do Instituto Geológico**, v. 34, n. 1, p. 23–44, 2013.

FERREIRA, M. Z. **Modelagem da influência de variáveis ambientais no crescimento e na produção de Eucalyptus sp.** 2009. 101 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)-Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG. 2009.

FLORES, C. A.; ALBA, J. M. F.; WREGE, M. S. **Zoneamento agroclimático do eucalipto para o estado do Rio Grande do Sul e edafoclimático na região do Corede Sul - RS**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. 87 p.

FONSECA, L. M. G. **Processamento digital de imagens**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2000. 105 p.

FRANCELINO, M. R.; REZENDE, E. M. C.; SILVA, L. D. B. Proposta de metodologia para zoneamento ambiental de plantio de eucalipto. **Cerne**, v. 18, n. 2, p. 275–283, 2012.

FREITAS, E. C. S. **Exame de qualificação**. Viçosa:UFV, 2015. 51 p. (não publicado).

GASPARINI, K. A. C.; FONSECA, M. D. S.; PASTRO, M. S.; LACERDA, L. C.; SANTOS, A. R. Zoneamento agroclimático da cultura do açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) para o estado do Espírito Santo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 4, p. 707–717, 2015.

GOLFARI, L. **Zoneamento ecológico do estado de Minas Gerais para reflorestamento**. Belo Horizonte: PNUD/FAO/IBDF/PRODEPEF, 1975. 65 p.

GOLFARI, L.; CASER, R. L.; MOURA, V. P. G. **Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil**. 2. ed. Belo Horizonte: PNUD/FAO/IBDF/PRODEPEF, 1978. 66 p.

GONÇALVES, J. L. M.; DEMATTÊ, J. L. I.; COUTO, H. T. Z. Relações entre a produtividade de sítios florestais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* com as propriedades de alguns solos de textura arenosa e media no estado de São Paulo. **IPEF**, v. 43/44, p. 24–39, 1990.

GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; BENEDETTI, V.; FESSEL, V. A. G.; GAVA, J. L. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 3–57.

- GOVERNO DO ESTADO DE MATO GROSSO. **Mato Grosso: geografia**. Disponível em: <<http://www.mt.gov.br/geografia>>. Acesso em: 10 de ago. 2016.
- HAYKIN, S. **Redes neurais: princípios e prática**. Porto Alegre: Bookman, 2001. 900 p.
- HEATON, J. **Programming neural networks with encog3 in java**. 2nd Edition. St. Louis: Heaton Research, Inc., 2011. 226 p.
- HERRERA, B.; ALVARADO, A. Calidad de sitio y factores ambientales en bosques de Centro América. **Agronomía Costarricense**, v. 22, n. 1, p. 99–117, 1998.
- HIGUCHI, N. **Informações básicas para o manejo florestal da Tectona grandis L.f. introduzida no Alto Jauru**. Cuiabá: Mimeografado, 1979. 92 p.
- IBÁ. **Indústria Brasileira de Árvores**. São Paulo, 2015. 77 p.
- IBGE. **Manual técnico de pedologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. 317 p.
- KAOSA-ARD, A. Teak (*Tectona grandis* Linn. f) its natural distribution and related factors. **Natural History Bulletin of the Siam Society**, v. 29, p. 55–74, 1989.
- KAOSA-ARD, A. Overview of problems in teak plantation establishment. In: TEAK FOR THE FUTURE - PROCEEDINGS REGIONAL SEMINAR ON TEAK, 2., 1995, Yangon. **Anais...** Yangon: TEAKNET/FAO. p. 49-60.
- KEOGH, R. M. **The care and management of teak (Tectona grandis L.f.) plantations**. Heredia, Costa Rica: Universidad Nacional, 1987. 48 p.
- KLIPPEL, V. H.; EDUARDO, J.; PEZZOPANE, M.; RICARDO, J.; PEZZOPANE, M.; CECÍLIO, R. A.; CASTRO, S.; PIMENTA, L. R. Zoneamento climático para teca, cedro australiano, nim indiano e pupunha no estado do Espírito Santo. **Floresta**, v. 43, n. 4, p. 671–680, 2013.
- KLIPPEL, V. H.; PEZZOPANE, J. E. M.; PEZZOPANE, J. R. M.; XAVIER, T. M. T.; TOLEDO, J. V. Zoneamento climático da teca (*Tectona grandis*) para o estado do Espírito Santo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 26., 2015, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBAGRO, 2015.
- KREITLOW, J. P.; NEVES, S. M. A. S.; NEVES, R. J.; SERAFIM, M. E. Avaliação geoambiental das terras do município brasileiro de Cáceres para o cultivo da teca. **O Espaço Geográfico em Análise**, v. 31, p. 53–68, 2014.
- LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas - possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado**. Eschborn: GTZ: Instituto de Silvicultura da Universidade Gottingen, 1990. 343 p.
- LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, n. 1, p. 159–174, 1977.
- LEITE, F. P.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; SANS, L. M. A.; FABRES, A. S. Relações hídricas em povoamento de eucalipto com diferentes densidades populacionais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 1, p. 9–16, 1999.
- LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; CAMPOS, J. C. C.; TAKIZAWA, F. H.; RODRIGUES, F. L. Um modelo de distribuição diamétrica para povoamentos de *Tectona grandis* submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, v. 30, n. 1, p. 89–98, 2006.
- LIN, H. S.; KOGELMANN, W.; WALKER, C.; BRUNS, M. A. Soil moisture patterns in a forested catchment: a hydropedological perspective. **Geoderma**, v. 131, n. 3-4, p. 345–368, 2006.

- LOPES, N. F.; LIMA, M. G. S. **Fisiologia da produção**. Viçosa: UFV, 2015. 492 p.
- LUPPI, A. S. L. **Potencial agroclimático para o desenvolvimento da cultura do cafeeiro no estado do Espírito Santo**. 2014. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. 2014.
- LUPPI, A. S. L.; SANTOS, A. R.; EUGÊNIO, F. C.; BRAGANÇA, R.; PELUZIO, J. B. E.; DALFI, R. L.; SILVA, R. G. Metodologia para classificação de zoneamento agroclimatológico. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 15, p. 80–97, 2014.
- MACEDO, R. L. G.; GOMES, J. E.; VENTURIN, N.; SALGADO, B. G. Desenvolvimento inicial de *Tectona grandis* L.f. (teca) em diferentes espaçamentos no município de Paracatu, MG. **Cerne**, v. 11, n. 1, p. 61–69, 2005.
- MARENCO, A. M.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2011. 486 p.
- MARTINS, E. R.; SILVA BINOTI, M. L. M.; LEITE, H. G.; BINOTI, D. H. B.; DUTRA, G. C. Configuração de redes neurais artificiais para prognose da produção de povoamentos clonais de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 10, n. 4, p. 532–537, 2015.
- MATRICARDI, W. A. T. **Efeitos dos fatores de solo sobre o desenvolvimento da teca (*Tectona grandis* L. f.) cultivada na grande Cáceres - Mato Grosso**. 1989. 135 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz", Piracicaba-SP. 1989.
- MEDEIROS, R. A.; PAIVA, H. N.; LEITE, H. G.; OLIVEIRA NETO, S. N.; VENDRÚSCOLO, D. G. S.; SILVA, F. T. Análise silvicultural e econômica de plantios clonais e seminais de *Tectona grandis* L.f. em sistema taungya. **Revista Árvore**, v. 39, n. 5, p. 893–903, 2015.
- MENEZES, A. A. **Produtividade do eucalipto e sua relação com a qualidade e a classe de solo**. 2005. 98 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. 2005.
- MEURER, E. J. Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento de plantas. In: NOVAIS, R. F.; VENEGAS, V. H. A.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 65–90.
- MIDGLEY, S.; SOMAIYA, R. T.; STEVENS, P. R.; BROWN, A.; KIEN, N. D.; LAITY, R. **Planted teak: global production and markets, with reference to Solomon Islands**. Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR), 2015. 93 p.
- MOORE, I. D.; GESSLER, P. E.; NIELSEN, G. A.; PETERSON, G. A. Soil attribute prediction using terrain analysis. **Soil Science Society of America Journal**, v. 57, n. 2, p. 443–452, 1993.
- MORI, C. L. S. O.; BRITO, J. O.; TOMAZELLO FILHO, M.; SCOLFORO, J. R. S.; GOMES JR, F. Influência da idade e altitude nas características anatômicas, químicas e de densidade básica da madeira de candeia - *Eremanthus erythropappus*. **Floresta**, v. 40, n. 4, p. 825–836, 2010.
- MOTA, F. S. **Meteorologia agrícola**. 7. ed. São Paulo: Nobel, 1986. 376 p.
- NAPPO, M. E.; NAPPO, A. E.; PAIVA, H. N. Zoneamento ecológico de pequena escala para nove espécies arbóreas de interesse florestal no Estado de Minas Gerais. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, v. 9, n. 03, p. 422–428, 2005.

- NOVAIS, R. F.; MELLO, J. W. V. Relação solo-planta. In: NOVAIS, R. F.; VENEGAS, V. H. A.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 133–204.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; VENEGAS, V. H. A.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 471–550.
- OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Ceres, 1981. 435p.
- ORTIZ, J. L.; VETTORAZZI, C. A.; COUTO, H. T. Z.; GONÇALVES, J. L. M. Relações espaciais entre o potencial produtivo de um povoamento de eucalipto e atributos do solo e do relevo. **Scientia Forestalis**, n. 72, p. 67–79, 2006.
- PAIVA, H. N.; JACOVINE, L. A. G.; TRINDADE, C.; RIBEIRO, G. T. **Cultivo de eucalipto: implantação e manejo**. 2. ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2011. 354 p.
- PAIVA, H. N.; VITAL, B. R. **Escolha da espécie florestal**. Viçosa: UFV, 2008. 42 p. (Caderno didático, 93).
- PANDEY, D.; BROWN, C. Teak: A global overview. **Unasylva**, v. 51, n. 201, p. 3–13, 2000.
- PAULA, R. R.; PEREIRA, M. G.; SANTIAGO, R. R.; AMORIM, H. B. Propriedades edáficas e desenvolvimento de eucalipto em topossequência na flona Mário Xavier-RJ. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 3, p. 344–351, 2012.
- PEI, T.; QIN, C.; ZHU, A.; YANG, L.; LUO, M.; LI, B.; ZHOU, C. Mapping soil organic matter using the topographic wetness index: a comparative study based on different ow-direction algorithms and kriging methods. **Ecological Indicators**, v. 10, p. 610–619, 2010.
- PELISSARI, A. L.; GUIMARÃES, P. P.; BEHLING, A.; EBLING, Â. A. Cultivo da teca: características da espécie para implantação e condução de povoamentos florestais. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, v. 1, n. 1, p. 127–145, 2014.
- PELUZIO, T. M. O.; SANTOS, A. R.; FIEDLER, N. C.; BAUER, M. O.; GARCIA, G. O.; SIMÃO, J. B. P.; PELUZIO, J. B. E. Estratégias de determinação de uso e ocupação da terra e de áreas de preservação permanente utilizando sistemas de informações geográficas. In: SANTOS, A. R.; PELUZIO, J. B. E.; PELUZIO, T. M. O.; SANTOS, G. M. A. D. A. (Ed.). **Geotecnologias aplicadas aos recursos florestais [recurso eletrônico]**. Alegre: CAUFES, 2012. p. 158–176.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia – fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 487 p.
- PILAU, F. G.; MARIN, F. R.; ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; BARBARISI, B. F. Zoneamento climático da heveicultura para as regiões Sudeste e Centro-Oeste. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 15, n. 2, p. 161–168, 2007.
- PRATES, V.; SOUZA, L. C. P.; BRISKI, S. J.; OLIVEIRA JUNIOR, J. C. Utilização de índices para a representação da paisagem como apoio para levantamento pedológico em ambiente de geoprocessamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 4, p. 408–414, 2011.
- PRINA, B. Z.; TRENTIN, R. GMC: Geração de Matriz de Confusão a partir de uma classificação digital de imagem do ArcGIS®. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 27., 2015, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: INPE, 2015. p. 132–139.

- ROCHA, S. P. **Variação temporal de propriedades físicas do solo e do crescimento de eucalipto em diferentes sistemas de preparo**. 2014. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS. 2014.
- RONDON NETO, R. M.; MACEDO, R. L. G.; TSUKAMOTO FILHO, A. A. **Formação de povoamentos florestais com *Tectona grandis* L.f. (teca)**. Lavras: UFLA, 1998. 29p. (Boletim Técnico, 33).
- RUFINO, D. T. C. **Zoneamento ecológico para o cultivo da seringueira no estado de Minas Gerais**. 1986. 70 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. 1986.
- RYAN, P. A. The management of Burmese teak forests. **The Commonwealth Forestry Review**, v. 61, n. 2, p. 115–120, 1982.
- SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, v. 15, n. 3, p. 234–281, 1977.
- SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; LEITE, H. G.; COMERFORD, N. B.; NOVAIS, R. F. Estimativa de biomassa de plantios de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 32, n. 4, p. 697–706, 2008.
- SANTOS, A. R.; RIBEIRO, C. A. A. S.; SEDIYAMA, G. C.; PELUZIO, J. B. E.; PEZZOPANE, J. E. M.; BRAGANÇA, R. **Zoneamento agroclimático no ArcGIS 10.3.1 passo a passo**. Alegre: CAUFES, 2015. 58 p.
- SANTOS, H. G.; CARVALHO JÚNIOR, W.; DART, R. O.; ÁGLIO, M. L. D.; SOUSA, J. S.; PARES, J. G.; FONTANA, A.; MARTINS, A. L. S.; OLIVEIRA, A. P. **O novo mapa de solos do Brasil: legenda atualizada**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 67 p.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. Á.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013a. 353 p.
- SANTOS, H. G.; ZARONI, M. J.; CLEMENTE, E. P. **Árvore do conhecimento: solos tropicais**. 2013b. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/Abertura.html>. Acesso em: 14 mar. 2016.
- SEPLAN. **Mapa de solos do estado de Mato Grosso**. 2001. Disponível em: <<http://feicoes.seplan.mt.gov.br/>>. Acesso em: 28 mar. 2016.
- SHIMIZU, J. Y.; KLEIN, H.; OLIVEIRA, J. R. V. **Diagnóstico das plantações florestais em Mato Grosso**. Cuiabá: Central de Texto, 2007. 63 p.
- SILVA BINOTI, M. L. M.; LEITE, H. G.; BINOTI, D. H. B.; GLERIANI, J. M. Prognose em nível de povoamento de clones de eucalipto empregando Redes Neurais Artificiais. **Cerne**, v. 21, n. 1, p. 97–105, 2015.
- SILVA BINOTI, M. L. M. **Redes neurais artificiais para prognose da produção de povoamentos não desbastados de eucalipto**. 2010. 54 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. 2010.
- SILVA, H. R.; HESPANHOL, A. N.; DONZELI, P. L.; ORTIZ, M. J. Proposta metodológica para a elaboração de zoneamento agrícola nos municípios do noroeste paulista. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 1996, Salvador. **Anais...** Salvador: INPE, 1996. p. 51-56.

SILVA, I. N.; SPATTI, H. D.; FLAUZINO, R. A. **Redes neurais artificiais: para engenharia e ciências aplicadas**. Artliber: Artliber, 2010. 399 p.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C.; TETTO, A. F. **Meteorologia e climatologia florestal**. Curitiba: Os Autores, 2015. 215 p.

SPERANDIO, H. V.; CAMPANHARO, W. A.; CECÍLIO, R. A.; NAPPO, M. E. Zoneamento agroecológico para espécies de eucalipto no estado do Espírito Santo. **Caminhos de Geografia**, v. 11, n. 34, p. 203–216, 2015.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G. Eucalyptus production and the supply, use and efficiency of use of water, light and nitrogen across a geographic gradient in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 193, n. 1-2, p. 17–31, 2004.

THORNTON, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance: publications in climatology**. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955. 104 p.

TONINI, H.; COSTA, M. C. G.; SCHWENGBER, L. A. M. Crescimento da teca (*Tectona grandis*) em reflorestamento na Amazônia Setentrional. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 59, p. 5–14, 2010.

TOUMEY, J. W.; KORSTIAN, C. F. **Foundations of silviculture: upon and ecological basis**. New York: John Wiley & Sons, 1949. 468 p.

WEAVER, P. L. **Tectona grandis L.f. Teak**. New Orleans: USDA Forest Service, International Institute of Tropical Forestry, 1993. 18 p. (SO-ITF-SM-64).

WHITE, K. J. **Teak: some aspects of research and development**. Bangkok: FAO, 1991. 53 p.

XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013). **International Journal of Climatology**, v.36, n.6, p. 2644–2659, 2015.

APÊNDICE

Apêndice 1: Matriz de comparação de variáveis climáticas, conforme Saaty (1977), para a cultura da teca no Estado de Mato Grosso.

Variável	Tmax	UR	Ven	Eto	RS	Tmin	Etr	Tmed	Exc	Def	ES	Prec
Tmax	1	1,00	1,00	1,00	0,33	0,33	0,33	0,33	0,20	0,20	0,20	0,20
UR	1	1	1,00	1,00	0,33	0,33	0,33	0,33	0,20	0,20	0,20	0,20
Ven	1	1	1	1,00	0,33	0,33	0,33	0,33	0,20	0,20	0,20	0,20
Eto	1	1	1	1	0,33	0,33	0,33	0,33	0,20	0,20	0,20	0,20
RS	3	3	3	3	1	1,00	1,00	1,00	0,60	0,60	0,60	0,60
Tmin	3	3	3	3	1	1	1,00	1,00	0,60	0,60	0,60	0,60
Etr	3	3	3	3	1	1	1	1,00	0,60	0,60	0,60	0,60
Tmed	3	3	3	3	1	1	1	1	0,60	0,60	0,60	0,60
Exc	5	5	5	5	1,67	1,67	1,67	1,67	1	1,00	1,00	1,00
Def	5	5	5	5	1,67	1,67	1,67	1,67	1	1	1,00	1,00
ES	5	5	5	5	1,67	1,67	1,67	1,67	1	1	1	1,00
Prec	5	5	5	5	1,67	1,67	1,67	1,67	1	1	1	1

Em que: Tmax = temperatura máxima; UR = umidade relativa do ar; Ven = velocidade do vento; Eto = evapotranspiração potencial; RS = radiação solar; Tmin = temperatura mínima; Etr = evapotranspiração real; Tmed = temperatura média; Exc = excesso hídrico; Def = deficiência hídrica; ES = duração da estação seca; Prec = precipitação pluviométrica.

Apêndice 2: Matriz de comparação de variáveis edáficas, conforme Saaty (1977), para a cultura da teca no Estado de Mato Grosso.

Variável	Drenagem	Profundidade efetiva	Textura	Classe de solo
Drenagem	2	0,33	0,33	0,33
Profundidade efetiva	3	1	1	1
Textura	3	1	1	1
Classe de solo	3	1	1	1

Apêndice 3: Matriz de comparação de variáveis fisiográficas, conforme Saaty (1977), para a cultura da teca no Estado de Mato Grosso.

Variável	Exposição do terreno	Inclinação do terreno	Índice topográfico de umidade - ITW	Altitude
Exposição do terreno	1	1	0,5	0,33
Inclinação do terreno	1	1	0,5	0,33
Índice topográfico de umidade - ITW	2	2	1	0,67
Altitude	3	3	1,5	1

Apêndice 4: Matriz de comparação de variáveis climáticas, edáficas e fisiográficas, conforme Saaty (1977), para a cultura da teca no Estado de Mato Grosso.

Variável	ITW	Exp	Inc	UR	ES	RS	Exc	Tmed	Def	Etp	Etr	Vento	Tmax	Tmin	Prec	Alt	Dren	Classe	Prof	Text
ITW	1	1,00	1,00	1,00	0,33	0,33	0,33	0,33	0,20	0,20	0,20	0,20	0,14	0,14	0,14	0,14	0,11	0,11	0,11	0,11
Exp	1	1	1,00	1,00	0,33	0,33	0,33	0,33	0,20	0,20	0,20	0,20	0,14	0,14	0,14	0,14	0,11	0,11	0,11	0,11
Inc	1	1	1	1,00	0,33	0,33	0,33	0,33	0,20	0,20	0,20	0,20	0,14	0,14	0,14	0,14	0,11	0,11	0,11	0,11
UR	1	1	1	1	0,33	0,33	0,33	0,33	0,20	0,20	0,20	0,20	0,14	0,14	0,14	0,14	0,11	0,11	0,11	0,11
ES	3	3	3	3	1	1,00	1,00	1,00	0,60	0,60	0,60	0,60	0,43	0,43	0,43	0,43	0,33	0,33	0,33	0,33
RS	3	3	3	3	1	1	1,00	1,00	0,60	0,60	0,60	0,60	0,43	0,43	0,43	0,43	0,33	0,33	0,33	0,33
Exc	3	3	3	3	1	1	1	1,00	0,60	0,60	0,60	0,60	0,43	0,43	0,43	0,43	0,33	0,33	0,33	0,33
Tmed	3	3	3	3	1	1	1	1	0,60	0,60	0,60	0,60	0,43	0,43	0,43	0,43	0,33	0,33	0,33	0,33
Def	5	5	5	5	1,67	1,67	1,67	1,67	1	1,00	1,00	1,00	0,71	0,71	0,71	0,71	0,56	0,56	0,56	0,56
Etp	5	5	5	5	1,67	1,67	1,67	1,67	1	1	1,00	1,00	0,71	0,71	0,71	0,71	0,56	0,56	0,56	0,56
Etr	5	5	5	5	1,67	1,67	1,67	1,67	1	1	1	1,00	0,71	0,71	0,71	0,71	0,56	0,56	0,56	0,56
Vento	5	5	5	5	1,67	1,67	1,67	1,67	1	1	1	1	0,71	0,71	0,71	0,71	0,56	0,56	0,56	0,56
Tmax	7	7	7	7	2,33	2,33	2,33	2,33	1,4	1,4	1,4	1,4	1	1,00	1,00	1,00	0,78	0,78	0,78	0,78
Tmin	7	7	7	7	2,33	2,33	2,33	2,33	1,4	1,4	1,4	1,4	1	1	1,00	1,00	0,78	0,78	0,78	0,78
Prec	7	7	7	7	2,33	2,33	2,33	2,33	1,4	1,4	1,4	1,4	1	1	1	1,00	0,78	0,78	0,78	0,78
Alt	7	7	7	7	2,33	2,33	2,33	2,33	1,4	1,4	1,4	1,4	1	1	1	1	0,78	0,78	0,78	0,78
Dren	9	9	9	9	3	3	3	3	1,8	1,8	1,8	1,8	1,29	1,29	1,29	1,29	1	1,00	1,00	1,00
Classe	9	9	9	9	3	3	3	3	1,8	1,8	1,8	1,8	1,29	1,29	1,29	1,29	1	1	1,00	1,00
Prof	9	9	9	9	3	3	3	3	1,8	1,8	1,8	1,8	1,29	1,29	1,29	1,29	1	1	1	1,00
Text	9	9	9	9	3	3	3	3	1,8	1,8	1,8	1,8	1,29	1,29	1,29	1,29	1	1	1	1

Em que: Tmax = temperatura máxima; UR = umidade relativa do ar; Vento = velocidade do vento; Eto = evapotranspiração potencial; RS = radiação solar; Tmin = temperatura mínima; Etr = evapotranspiração real; Tmed = temperatura média; Exc = excesso hídrico; Def = deficiência hídrica; ES = duração da estação seca; Prec = precipitação pluviométrica; Classe = classe de solo; Text = textura; Prof = profundidade efetiva; Dren = drenagem; Alt = altitude; Inc = inclinação do terreno; Exp = exposição do terreno; ITW = índice topográfico de umidade.

Apêndice 5: Estatísticas de RNA com diferentes números de neurônios na camada oculta.

Neurônios na camada oculta	RNA	RQEM	R	Frequência por classe de erro relativo percentual
10	RNA 94	3,117	0,854	
15	RNA 90	2,983	0,868	
20	RNA 37	2,871	0,878	
25	RNA 42	2,901	0,875	
30	RNA 78	3,041	0,862	
35	RNA 3	2,922	0,873	
40	RNA 4	2,949	0,871	
45	RNA 5	2,881	0,877	
50	RNA 4	2,866	0,879	
100	RNA 5	2,893	0,876	

em que: RNA = redes neuronais artificiais; RQEM = raiz quadrada do erro médio; R = coeficiente de correlação.

Apêndice 6: Estatísticas de RNA com diferentes porcentagens dos dados no treinamento.

% dados no treinamento	RNA	RQEM	R	Frequência por classe de erro relativo percentual
10	RNA 6	1,06	0,98	
20	RNA 10	2,31	0,93	
30	RNA 5	2,36	0,92	
40	RNA 3	2,74	0,89	
50	RNA 8	2,81	0,88	
60	RNA 8	2,81	0,89	
70	RNA 4	2,77	0,88	
80	RNA 9	2,97	0,87	
90	RNA 10	3,26	0,87	
100	RNA 7	2,83	0,88	

em que: RNA = redes neuronais artificiais; RQEM = raiz quadrada do erro médio; R = coeficiente de correlação.

CAPÍTULO II

CRESCIMENTO, PRODUÇÃO E IDADE TÉCNICA PARA O PRIMEIRO DESBASTE DE POVOAMENTOS DE TECA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS E ARRANJOS ESPACIAIS

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar o crescimento e a produção e identificar a idade técnica de desbaste (ITD) em povoamentos de teca em diferentes espaçamentos e arranjos espaciais, aos 78 meses de idade. Os dados foram provenientes de experimentos envolvendo espaçamento e arranjo espacial em plantios de teca (*Tectona grandis* L.f.) no município de Água Boa-MT, o qual foi instalado em 2009, em dois locais com coordenadas geográficas 13°59'54"S, 52°24'51"W e altitude de 368 m (talhão 30) e 14°00'33"S, 52°24'34"W e altitude de 378 m (talhão 31). Foram avaliados 12 espaçamentos (5,0 x 1,5; 3,5 x 2,2; 3,5 x 2,4; 3,5 x 2,6; 3,5 x 2,8; 4,0 x 3,0; 5,0 x 3,0; 4,0 x 4,0; 6,0 x 3,0; 5,0 x 4,0; 6,0 x 4,0 e 5,0 x 5,0 m) dispostos em parcelas com área de 1505 ou 1548 m², com nove repetições, em delineamento inteiramente casualizado, sendo as medições dessas parcelas feitas nas idades de 26, 42, 50 e 78 meses. Utilizou-se o modelo de Gompertz para modelagem do crescimento e produção. A função Weibull foi utilizada para modelagem da distribuição de diâmetros (MDD) e a ITD foi identificada pelo método dos ingressos percentuais (MIP), empregando o modelo expolinear. A altura total das árvores foi pouco influenciada pelos espaçamentos e arranjos espaciais. O diâmetro médio foi superior nos maiores espaçamentos. Já a área basal e o volume total com casca foram superiores nos espaçamentos mais adensados, porém, essas variáveis em nível de indivíduo foram maiores nos espaçamentos mais amplos. O ingresso das árvores nas sucessivas classes de diâmetro diminuiu com a idade, independente do espaçamento e arranjo espacial, sendo este ingresso menos acentuado nos maiores espaçamentos. A estagnação do crescimento ocorreu mais cedo nos espaçamentos mais adensados, que apresentaram maiores taxas de crescimento inicial, resultando em menores idades técnicas para aplicação do desbaste. O MDD e o MIP são eficientes para monitoramento do crescimento e produção e definição da idade técnica de desbaste (ITD) em povoamentos de teca. A idade técnica do primeiro desbaste varia de 6 a 8 anos nos espaçamentos e arranjos espaciais estudados.

GROWTH, PRODUCTION AND TECHNICAL AGE FOR THE FIRST THINNING OF TEAK STANDS IN DIFFERENT SPACINGS AND SPATIAL ARRANGEMENTS

ABSTRACT

This research aimed to evaluate the growth and yield and to identify the thinning technical age (TTA) in 78-month old *Tectona grandis* stands in different spacings and spatial arrangements. We used data from experiments involving spacings and spatial arrangements in the municipality of Água Boa-MT, installed in 2009 in two sites at the geographic coordinates 13°59'54" S, 52°24'51" W and altitude of 368 m (plot 30) and 14°00'33" S, 52°24'34" W and altitude of 378 m (plot 31). We evaluated 12 spacings (5.0 x 1.5, 3.5 x 2.2, 3.5 x 2.4, 3.5 x 2.6, 3.5 x 2.8, 4.0 x 3.0, 5.0 x 3.0, 4.0 x 4.0, 6.0 x 3.0, 5.0 x 4.0, 6.0 x 4.0 and 5.0 x 5.0 m) using plots with area of 1505 m² or 1548 m², arranged in a completely randomized design with nine replicates. The measurements of these plots were performed at the ages of 26, 42, 50 and 78 months. We used the Gompertz function to model growth and yield. The Weibull function was used for the diameter distribution modeling (DDM) and the TTA was determined through the Method of the Percent Entries (MPE), using the expolinear function. The total height of the trees was little affected by the spacings and spatial arrangements. The mean diameter was larger in wider spacings. The plot basal area and total volume with bark were higher in denser spacings, but, at the tree level, these variables were higher in wider spacings. The entry of trees in successive diameter classes decreased with age, regardless of spacing and spatial arrangement, with smaller decrease in the widest spacings. The stagnation of growth occurred earlier in the denser spacings, which had higher initial growth rates, resulting in earlier technical age for the first thinning. The DDM and the MPE were effective to monitor the growth and yield and to define the thinning schedule in teak stands. The technical age of the first thinning ranged from 6 to 8 years old within the range of spacings and spatial arrangements covered by our work.

1 INTRODUÇÃO

A adaptação da teca (*Tectona grandis* L.f.) às condições edáficas e climáticas de Mato Grosso e o valor internacional da madeira tem levado à expansão da cultura no Estado nos últimos anos. De acordo com dados do IBÁ (2016) a área plantada no Brasil era de 87.410 ha em 2015. Nativa das florestas tropicais do Sudeste Asiático é considerada uma espécie nobre por apresentar alto valor comercial, beleza, estabilidade, trabalhabilidade, resistência e durabilidade natural (REIS; PALUDZYSZYN FILHO, 2011). É muito responsiva às condições ambientais em que é implantada e ao manejo a que é submetida, de modo que os plantios devem ser realizados em locais apropriados, utilizando material genético selecionado, seguindo um plano de manejo consonante com as características ecológicas e silviculturais da espécie, de modo a otimizar a produtividade dos povoamentos.

Na implantação de povoamentos florestais a definição do espaçamento inicial de plantio é uma das etapas mais importantes. Para tanto, deve-se considerar o genótipo, características do local e objetivos do plantio. Sua escolha definirá o espaço de crescimento das árvores e influenciará nas taxas de crescimento e produção, qualidade da madeira produzida, regime de desbaste e desrama, forma do tronco e copa, sobrevivência, idade de corte, custos e rendimentos operacionais nas operações de implantação, manutenção e colheita (BALLONI; SIMÕES, 1980; PASSOS et al., 2006; PAIVA et al., 2011; SILVA, 2011).

O espaço de crescimento das árvores pode definir a produção de um povoamento florestal, que por sua vez depende, dentre outros fatores, da definição do melhor espaço de crescimento e da aplicação de práticas silviculturais no tempo certo (CAMPOS; LEITE, 2013), principalmente em espécies que apresentam maior rotação, como a teca, e necessitam de intervenções silviculturais periódicas, como o desbaste.

Desbastes são cortes parciais em povoamentos imaturos, com a finalidade de antecipar a mortalidade regular e concentrar fatores determinantes do crescimento nas árvores remanescentes, preservando, pelo menos em parte, as vantagens da competição. Os principais objetivos são produção de árvores de maior valor econômico, redução de perda devido a mortalidade regular, maximização da ciclagem de nutrientes e melhoria das condições de pastagens em sistemas silvipastoris (PAIVA et al., 2011; PAIVA; LEITE, 2015).

A definição de um regime ótimo de desbaste, evidenciando o tipo, época, técnica e peso são fundamentais para a composição do plano de manejo de povoamentos florestais. Atualmente, com os recursos da informática e softwares específicos, a

modelagem do crescimento e produção dos povoamentos tem se tornado uma rotina nas empresas florestais e subsidiado decisões previstas nos planos de manejo. Campos e Leite (2013) afirmam que para determinar regimes ótimos de desbaste é necessário utilizar modelos que incluem efeitos da densidade do povoamento e da capacidade produtiva em diferentes níveis (povoamento, classe de diâmetro e árvore individual).

Os modelos de distribuição de diâmetro (MDD) estimam a frequência e o número de árvores por área e classe de diâmetro, em idades atuais e futuras, possibilitando um monitoramento mais detalhado do crescimento e da produção, da estrutura diamétrica de povoamentos florestais, além de permitir análises econômicas desses povoamentos através da conversão de árvores em multiprodutos, que são bases para o manejo florestal (CAMPOS; TURNBULL, 1981; CAMPOS; LEITE, 2013).

Diversas pesquisas têm sido realizadas com MDD relacionadas a desbaste com a finalidade de analisar tendências de crescimento e produção antes e após a sua aplicação, identificar a idade técnica e propor regimes de desbastes (NOGUEIRA, 2003; NOGUEIRA et al., 2005; LEITE et al., 2005; DIAS, 2005; LEITE et al., 2006; NOGUEIRA et al., 2006). Na maioria das vezes a modelagem é feita empregando-se a função Weibull (WINGO, 1988), devido a flexibilidade e características desejáveis para a modelagem (BAILEY; DELL, 1972; CAMPOS; TURNBULL, 1981; LEITE et al., 1990; NOGUEIRA, 2003; LEITE et al., 2008; ARAÚJO JÚNIOR et al., 2012; CAMPOS; LEITE, 2013).

A identificação da idade técnica de desbaste muitas vezes é feita de modo empírico, baseado em observações de campo, experiências e conhecimentos do administrador florestal ou ainda conforme a demanda do mercado consumidor, objetivos do proprietário e fatores econômicos (CAMPOS; LEITE, 2013). Esse empirismo ocorre para a cultura da teca (NOGUEIRA, 2003).

A estagnação do crescimento tem sido utilizada como referência para decidir quando desbastar (LEITE et al., 2008). No passado, de acordo com Paiva¹ (2013), "percebia-se que um povoamento estava estagnado, quando estagnado estava". Atualmente, através da modelagem do crescimento e produção é possível fazer previsões e prognose com precisão e identificar a idade técnica de desbaste com antecedência mínima de um ano.

Garcia (1999) propôs uma metodologia denominada Método dos Ingressos Percentuais (MIP) utilizando modelo de distribuição diamétrica para definição da idade

¹ Informações proferidas pelo Prof. Haroldo Nogueira de Paiva em aulas da Disciplina de Técnicas Silviculturais do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal – DEF/UFV, em 2013.

técnica de desbaste. O ingresso percentual (IP) dos indivíduos nas sucessivas classes de diâmetro é obtido pela diferença entre duas distribuições de diâmetro (fdp) em ocasiões distintas. Quando elas se igualam, tem-se o diâmetro diferenciador (DD), que caracteriza o início da estagnação do crescimento. Para determinar o DD, ou seja, o momento em que os ingressos em novas classes não são mais significativos pode ser empregado o modelo exponencial justaposto a um modelo linear simples proposto por Goudriaan (1994), conforme estudos de Nogueira et al. (2001).

Apesar de diversas publicações envolvendo espaçamentos de plantio (MACEDO et al., 2005; PASSOS et al., 2006; RONDON, 2006; OLIVEIRA, 2008; LIMA et al., 2009; SOUSA, 2010) e desbastes (NOGUEIRA et al., 2001; LEITE et al., 2006; NOGUEIRA et al., 2006; GARCIA, 2006; CALDEIRA; OLIVEIRA, 2008; BEZERRA, 2009), pesquisas com *Tectona grandis* relacionadas à definição da idade técnica de aplicação do primeiro desbaste, envolvendo diversos espaçamentos e arranjos espaciais são incipientes ou escassas. Por isso, foi conduzido este trabalho, com objetivo de avaliar o crescimento e a produção e identificar a idade técnica de desbaste em povoamentos de teca, implantados em diferentes espaçamentos e arranjos espaciais, no município de Água Boa-MT.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização, descrição da área experimental e coleta dos dados

Os dados para este trabalho foram provenientes de dois experimentos envolvendo espaçamento e arranjo espacial em plantios de teca (*Tectona grandis*) no município de Água Boa, região leste de Mato Grosso. Os experimentos foram instalados em 2009, em dois locais aqui denominados por talhões 30 e 31, respectivamente, nas coordenadas geográficas médias 13°59'54"S e 52°24'51"W e altitude de 368 m e 14°00'33"S e 52°24'34"W e altitude de 378 m.

O clima da região é do tipo Aw - Clima tropical, com verão chuvoso (outubro a abril) e inverno seco (maio a setembro), com pluviosidade variando de 1.800 a 2.200 mm anuais. O solo foi classificado pela empresa detentora da área onde se localiza o experimento, como CXd2fd: Cambissolo háplico Tb distrófico (aluminico), endopetroplântico, textura média ou argilosa, mosqueado, A moderado ou fraco, relevo plano a suavemente ondulado, situado em área de captação de água (baixada) e posicionado em declive superior a 3% (talhão 030) e LVd4d: Latossolo vermelho

distrófico típico, textura argilosa, A moderado, relevo plano a suavemente ondulado e solo posicionado em declive superior a 3% (talhão 031).

Em cada experimento foram avaliados 12 espaçamentos e arranjos espaciais, dispostos no delineamento experimental inteiramente casualizado, cada qual em nove parcelas de 1505 ou 1548 m² de área (Anexos 1 e 2). Os tratamentos e respectivos espaçamentos, arranjos espaciais, densidade de plantas, dimensões e área da parcela encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1: Espaçamento, densidade de plantas e tamanho da parcela de unidades experimentais em Água Boa-MT

Tratamento	Área por planta (m ²)	Espaçamento m	Plantas (ha)	Tamanho da parcela (m)	Área da parcela (m ²)
1	7,5	5,0 x 1,5	1334	43 x 35	1505
2	7,7	3,5 x 2,2	1298	43 x 35	1505
3	8,4	3,5 x 2,4	1190	43 x 35	1505
4	9,1	3,5 x 2,6	1098	43 x 35	1505
5	9,8	3,5 x 2,8	1020	43 x 35	1505
6	12,0	4,0 x 3,0	834	43 x 36	1548
7	15,0	5,0 x 3,0	667	43 x 35	1505
8	16,0	4,0 x 4,0	625	43 x 36	1548
9	18,0	6,0 x 3,0	556	43 x 36	1548
10	20,0	5,0 x 4,0	500	43 x 35	1505
11	24,0	6,0 x 4,0	416	43 x 36	1548
12	25,0	5,0 x 5,0	400	43 x 35	1505

O preparo do solo foi por meio de ripagem e subsolagem na profundidade de 90 a 110 cm de profundidade (talhão 30) e subsolagem na profundidade de 45 a 50 cm (talhão 31). Foram utilizadas mudas seminais de teca, produzidas em tubetes de 115 cm³ de capacidade. O plantio foi manual e o replantio 40 dias após o plantio. Nesta ocasião, foram aplicados 170 g por planta de fertilizante NPK 6:30:6.

O controle de plantas invasoras deu-se por capina manual (coroamento), capina química (aplicação de herbicida glifosato nas entrelinhas e nas linhas nos espaçamentos mais amplos), roçada semimecanizada (linha de plantio) e mecanizada (nas entrelinhas). Um ano após o plantio foi realizada a desbrota.

As parcelas experimentais foram medidas aos 26, 42, 50 e 78 meses após o plantio. Mediu-se a altura total (Ht) das dez (idade de 26 e 42 meses) e cinco (idade de 50 e 78 meses) primeiras árvores das parcelas, sendo que a altura das demais árvores foi estimada por relação hipsométrica. A circunferência (cap) de todas as árvores foi medida a 1,3 m de altura e o estado silvicultural e sanitário das árvores foram observados e registrados.

Na idade de 64 meses não houve medições a campo, sendo que os dados de diâmetro e altura total das árvores para cada tratamento foram obtidos empregando equações obtidas ao ajustar o modelo de Piennar e Shiver (1981), conforme Campos e Leite (2013) (Equação 1):

$$y_2 = y_1 e^{(-\alpha(I_2^\beta - I_1^\beta))} + \varepsilon \quad (1)$$

em que: y é o diâmetro ou altura total nas idades atual (1) e futura (2), α e β os parâmetros do modelo e ε o erro aleatório.

O volume com casca foi estimado pela empresa detentora da área onde localiza-se o experimento, utilizando equações volumétricas ajustadas empregando-se o modelo de Schumacher e Hall (1933) (2):

$$Vcc = \beta_0 \text{dap}^{\beta_1} \text{Ht}^{\beta_2} + \varepsilon \quad (2)$$

em que: Vcc é o volume com casca, β o parâmetro do modelo, dap o diâmetro a 1,3 m de altura, Ht a altura total e ε o erro aleatório.

2.2 Crescimento e produção

O modelo de Gompertz (3) foi ajustado para avaliar a estimativa e tendência do crescimento em altura total (ht), em diâmetro (dap), em diâmetro quadrático médio (q), em área basal (B) e em volume com casca (Vcc/ha) nos espaçamentos e arranjos espaciais.

$$Y = \beta_0 e^{-(e^{(\beta_1 - \beta_2 I)})} + \varepsilon \quad (3)$$

em que: Y é a variável considerada na idade (I), β o parâmetro do modelo e ε o erro aleatório.

Os ajustes dos modelos foram feitos por espaçamento e talhão, utilizando o software Statistica (DELL STATSOFT, 2015), sendo as equações comparadas empregando testes de identidade de modelos (REGAZZI; SILVA, 2010). A estatística utilizada para analisar as hipóteses de igualdade entre as equações ajustadas encontra-se na equação 4:

Seja Y_{ji} a j -iésima observação de uma variável Y , em um conjunto de dados i , com $i = 1, 2, \dots, H$ e $j = 1, 2, \dots, n_i$, sendo $n = \sum_{i=1}^H n_i$ e K_1 e K_2 o número de coeficientes em um modelo completo e em um modelo reduzido para uma hipótese H_0 (hipótese de identidade). Então sob normalidade:

$$F = \frac{(n-k_1) \left[\sum_i \sum_j (Y_{ij} - \hat{Y}_{ij,r})^2 - \sum_i \sum_j (Y_{ij} - \hat{Y}_{ij,c})^2 \right]}{(k_1 - k_2) \sum_i \sum_j (Y_{ij} - \hat{Y}_{ij,c})^2} \sim F(\alpha; (K_1 - K_2) \text{ e } (n - K_1) \text{ gl}) \quad (4)$$

em que: $\hat{Y}_{ij,r}$ é a j-ésima observação estimada de uma variável Y de um modelo reduzido

$\hat{Y}_{ij,c}$ é a j-ésima observação estimada de uma variável Y de um modelo completo

Como as comparações das equações do modelo de Gompertz foram feitas 2 a 2, então, neste estudo, H=2, K₁=6 (seis coeficientes) e K₂=3 (três coeficientes).

As equações ajustadas foram avaliadas com base no coeficiente de correlação ($R_{y\hat{y}}$) (5), erro padrão residual (Syx) (6) e análises gráficas dos erros relativos percentuais (ER) (7):

$$R_{y\hat{y}} = \frac{n^{-1}(\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \hat{y}_m)(y_i - \bar{y}))}{\sqrt{n^{-1} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \hat{y}_m)^2 (n^{-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2)}} \quad \hat{y}_m = n^{-1} \sum_{i=1}^n \hat{y}_i \quad (5)$$

$$Syx = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-p}} \quad (6)$$

$$ER_{\%} = 100 \left(\frac{(\hat{y}_i - y_i)}{y_i} \right) \quad (7)$$

em que: y_i e \hat{y}_i são os valores observados e estimados da variável dependente de interesse;

x é a variável independente;

i é a i-ésima observação da variável de interesse;

\bar{y} é a média aritmética de y;

\hat{y}_m é a média das estimativas de y;

n é o número de observações, e

p é o numero de variáveis independentes no modelo.

Na idade de 78 meses procedeu-se à comparação de médias das variáveis da altura total, do diâmetro quadrático médio, da área basal, do volume com casca e da sobrevivência, por meio do teste de Tukey a 5% de probabilidade.

2.3 Determinação da idade técnica de desbaste

Para construção do modelo de distribuição de diâmetro (MDD) foi utilizada a função densidade de probabilidade Weibull (fdp) (8). A amplitude da classe de diâmetro

foi de 1,0 cm e o ajuste da fdp para cada parcela e medição foi feito utilizando o software FitFD (<http://neuroforest.ucoz.com>).

$$f(x) = \left(\frac{\gamma}{\beta}\right) \left(\frac{x}{\beta}\right)^{(\gamma-1)} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\gamma} \quad (8)$$

em que: $f(x)$ é a função densidade de probabilidade, x o centro da classe de diâmetro, β o parâmetro de escala e γ o parâmetro de forma da função, sendo: $x \geq 0$, $\beta > 0$ e $\gamma > 0$.

Para distribuição de diâmetros por espaçamento e talhão foram ajustados os modelos 9, 10 (quando o modelo 9 não apresentava um bom ajuste), 11 e 12. Os ajustes foram feitos pelo método de mínimos quadrados, pelo procedimento Quasi-Newton (DELL STATSOFT, 2015).

Nas idades atuais considerou-se o número de árvores (Nobs) observado nestas idades em cada parcela e talhão e, nas idades de 84 e 96 meses considerou-se o número de indivíduos observado na última medição.

Assim, o MDD ajustado foi:

$$\gamma_2 = \gamma_1 (I_1 / I_2) + \alpha_1 (1 - I_1 / I_2) q_2 + \varepsilon \quad (9)$$

$$\gamma_2 = \gamma_1 (I_1 / I_2) + \alpha_1 (1 - I_1 / I_2) + \varepsilon \quad (10)$$

$$\beta_2 = \beta_1 (I_1 / I_2) + \alpha_2 (1 - I_1 / I_2) q_2 + \varepsilon \quad (11)$$

$$q_2 = \alpha_5 + \alpha_6 q_1 + \varepsilon \quad (12)$$

em que: β e γ parâmetros da função Weibull nas idades atual e futura;

q : diâmetro médio nas idades atual e futura;

I : idade atual e futura;

x : centro da classe de diâmetro;

α : parâmetros do modelo, e

ε : erro aleatório.

Para recuperar o número de indivíduos por classe de diâmetro por espaçamento e talhão foi utilizada a equação 13:

$$Nrec = \left(e^{-\left(\frac{x_i}{\beta}\right)^\gamma} - e^{-\left(\frac{x_s}{\beta}\right)^\gamma} \right) Nobs \quad (13)$$

em que: $Nrec$ é o número de indivíduos recuperado por classe de diâmetro na idade considerada, x_i e x_s o limite inferior e superior da classe de diâmetro, $Nobs$ o número de árvores observado na idade considerada, β o parâmetro de escala e γ o parâmetro de forma da função, sendo: $x \geq 0$, $\beta > 0$ e $\gamma > 0$.

A validação do MDD foi por comparações entre as distribuições observadas e estimadas aos 78 meses, utilizando o procedimento estatístico proposto por Leite e Oliveira (2002).

O ingresso de árvores em novas classes de diâmetro foi calculado conforme Garcia (1999) e Nogueira et al. (2001), a partir do diâmetro diferenciador (DD) (Figura 1).

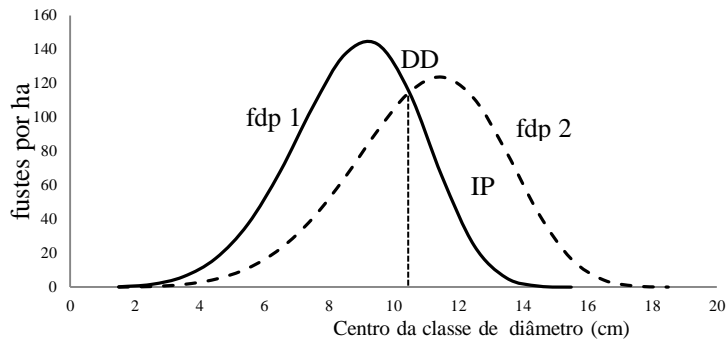


Figura 1: Ilustração de duas funções densidade de probabilidade (fdp) em função do número de indivíduos e classe de diâmetro em idades distintas, o ingresso de indivíduos (IP) e o diâmetro diferenciado (DD) (Nogueira, 2001).

Para identificar a idade técnica de desbaste (ITD) ajustou-se o modelo expolinear (GOUDRIAAN, 1994) (14). Para seu ajuste utilizou-se os procedimentos iterativos Quasi-Newton e Simplex, com o software Statistica (DELL STATSOFT, 2015).

$$IPM = \left(\frac{\theta_1}{\theta_2} \right) \ln \left(1 + \exp(\theta_2(I - \theta_3)) \right) + e \quad (14)$$

em que: IPM: ingresso percentual médio mensal de árvores;

I: idade do povoamento, em meses;

θ_i : parâmetros do modelo, com $i = 1, 2, \dots, n$;

θ_1 : parâmetro que indica o crescimento máximo absoluto do ingresso percentual de árvores na fase linear da curva;

θ_2 : parâmetro que indica o crescimento máximo relativo do ingresso percentual de árvores na fase exponencial da curva;

θ_3 : parâmetro que corresponde à idade técnica de desbaste, e

ε : erro aleatório, $\varepsilon \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$.

3 RESULTADOS

3.1 Crescimento e produção

Aos 78 meses de idade, no talhão 30 observou-se que a altura total média foi igual nos espaçamentos com 5 x 5, 6 x 4 e 4 x 4 m ($p > 0,05$), considerados mais amplos

e diferiram dos demais espaçamentos ($p < 0,05$). O espaçamento 5 x 1,5 m, considerado adensado, apresentou a menor altura média (Figura 2).

Os resultados da altura média observados no talhão 31 sugerem que a densidade pouca afeta a altura média. Neste talhão, os espaçamentos com 5 x 5; 6 x 4; 4 x 4; 5 x 3; 4 x 3 e 3,5 x 2,8 m apresentaram altura média semelhantes ($p > 0,05$) e superiores ($p < 0,05$) aos demais. Por outro lado, a menor altura média foi observada nos espaçamentos com 5 x 1,5; 3,5 x 2,2 e 6 x 3 m, cujas alturas foram semelhantes ($p > 0,05$). Observa-se que entre os tratamentos com maior altura média, há espaçamentos considerados amplos (5 x 5 m) e também adensados (3,5 x 2,8 m), da mesma forma, entre aqueles que apresentaram menor altura média.

Diferentemente da altura, o diâmetro quadrático médio foi influenciado pela densidade. No talhão 30, os espaçamentos e arranjos espaciais com 5 x 5 e 6 x 4 m, considerados mais amplos, apresentaram diâmetro quadrático médio semelhantes ($p > 0,05$) e superiores ($p < 0,05$) aos demais tratamentos. Estes espaçamentos e aqueles com 5 x 3 e 4 x 4 m apresentaram diâmetro médio iguais no talhão 31 ($p > 0,05$). O espaçamento 5 x 1,5, considerado adensado, apresentou menor diâmetro médio no talhão 30 e 31, sendo que neste último, a média foi semelhante ($p > 0,05$) àquelas observadas nos espaçamentos e arranjos espaciais com 3,5 x 2,2; 3,5 x 2,4 e 3,5 x 2,6 m.

No talhão 30, os espaçamentos com 3,5 x 2 e 3,5 x 2,8 m apresentaram área basal / ha semelhante ($p > 0,05$) e, no talhão 31 constatação similar foi observada nos espaçamentos com 3,5 x 2,2; 3,5 x 2,4; 3,5 x 2,6 e 3,5 x 2,8 m. A menor área basal observada no talhão 30 foi verificada nos espaçamentos com 6 x 3 e 5 x 4 m. Além desses espaçamentos, aqueles com 5 x 5 e 6 x 4 m apresentaram área basal iguais no talhão 31 ($p > 0,05$).

Para o volume com casca / ha, os resultados foram semelhantes aos da área basal / ha, exceto no talhão 31 onde os espaçamentos com 5 x 3 e 4 x 4 m também apresentaram resultados semelhantes ($p > 0,05$) àqueles com 3,5 x 2,2; 3,5 x 2,4; 3,5 x 2,6 e 3,5 x 2,8 m.

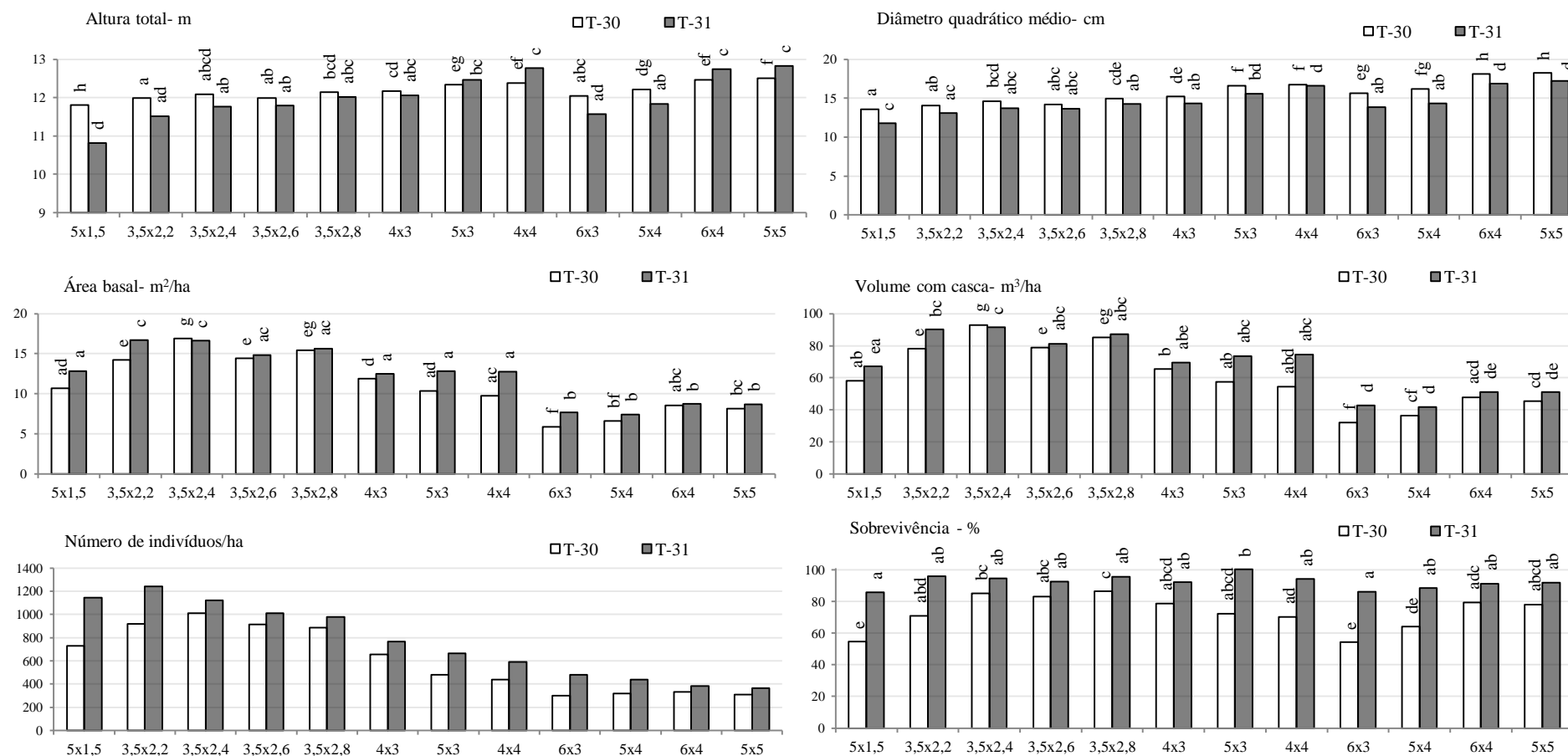


Figura 2: Altura total (Ht), diâmetro quadrático médio (q), área basal (B), volume com casca (V), número de indivíduos (N) e sobrevivência (S) de teca, aos 78 meses de idade, respectivamente nos talhões (T30 e T31). Dentro de um mesmo talhão, médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, a 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey.

As árvores espaçamento com 5 x 1,5 m considerando o mais adensado entre os demais, apresentaram médias de área basal / ha e volume / há com casca diferentes ($p < 0,05$) e inferiores em relação àqueles com densidade similar, o que não era esperado. A isso se atribui o efeito do arranjo espacial sobre as variáveis.

Verificou-se baixa sobrevivência nos espaçamentos com 5 x 1,5; 6 x 3 e 5 x 4 m (55, 54 e 64 %, respectivamente) em relação aos demais no talhão 30. Resultado semelhante foi observado no talhão 31, onde apresentaram sobrevivência de 86, 86 e 88 %, respectivamente.

No talhão 30 verificou-se que as equações ajustadas do modelo de Gompertz para estimativa e tendência de crescimento (Ht e q) e produção (B e Vcc) em função da idade, apresentaram, na sua maioria, coeficiente de correlação entre as variáveis dependentes (Ht, q, B e Vcc) e independentes (idade), acima de 90 % e baixo erro padrão (Tabela 2), exceto para a variável área basal / ha e volume com casca / ha nos espaçamentos com 5 x 1,5 e 6 x 3 m, que apresentaram estatísticas de exatidão e precisão inferiores aos demais.

Tabela 2: Parâmetros do modelo Gompertz ajustados para as variáveis altura total (Ht), diâmetro quadrático médio (q), área basal/ha (B) e volume com casca/ha (Vcc) de teca (talhão 30), em diferentes espaçamentos e arranjos espaciais, correspondentes teste de identidade de modelo (T) e estatísticas de exatidão (Syx) e de precisão ($R_{y\hat{y}}$) das equações.

Espaçamento (m)	Equação*	T**	Syx	$R_{y\hat{y}}$
5 x 1,5	$Ht = 14,48510 \exp(-\exp(0,91723 - 0,03245I))$	i	0,39	98,75
3,5 x 2,2	$Ht = 13,64814 \exp(-\exp(1,01868 - 0,04013I))$	d	0,19	99,72
3,5 x 2,4	$Ht = 13,85619 \exp(-\exp(0,90633 - 0,03754I))$	d	0,14	99,84
3,5 x 2,6	$Ht = 13,65077 \exp(-\exp(0,97828 - 0,03958I))$	h	0,17	99,75
3,5 x 2,8	$Ht = 13,70071 \exp(-\exp(0,98970 - 0,04050I))$	c	0,12	99,88
4 x 3	$Ht = 13,88912 \exp(-\exp(0,99049 - 0,03953I))$	c	0,22	99,62
5 x 3	$Ht = 14,14371 \exp(-\exp(0,99488 - 0,03892I))$	g	0,13	99,87
4 x 4	$Ht = 14,60825 \exp(-\exp(0,99827 - 0,03674I))$	b	0,24	99,60
6 x 3	$Ht = 15,14113 \exp(-\exp(0,90008 - 0,03085I))$	f	0,26	99,46
5 x 4	$Ht = 14,68740 \exp(-\exp(0,94118 - 0,03410I))$	e	0,17	99,79
6 x 4	$Ht = 14,74694 \exp(-\exp(0,98898 - 0,03636I))$	ab	0,13	99,88
5 x 5	$Ht = 14,56022 \exp(-\exp(0,98850 - 0,03738I))$	a	0,13	99,87
5 x 1,5	$q = 16,22017 \exp(-\exp(0,82057 - 0,03310I))$	h	0,85	95,24
3,5 x 2,2	$q = 15,62055 \exp(-\exp(0,97344 - 0,04302I))$	a	0,49	98,44
3,5 x 2,4	$q = 16,61239 \exp(-\exp(0,74664 - 0,03614I))$	g	0,27	99,48
3,5 x 2,6	$q = 15,56169 \exp(-\exp(0,95456 - 0,04414I))$	a	0,48	98,42
3,5 x 2,8	$q = 16,34179 \exp(-\exp(1,02284 - 0,04522I))$	b	0,44	98,88
4 x 3	$q = 17,36185 \exp(-\exp(0,93481 - 0,03887I))$	b	0,68	97,60
5 x 3	$q = 19,89896 \exp(-\exp(0,95439 - 0,03460I))$	c	0,58	98,66

4 x 4	$q = 21,58360 \exp(-\exp(0,96538 - 0,03064I))$	c	0,59	98,72
6 x 3	$q = 22,05417 \exp(-\exp(0,86551 - 0,02512I))$	f	0,68	97,95
5 x 4	$q = 21,74311 \exp(-\exp(0,91114 - 0,02776I))$	e	0,54	98,82
6 x 4	$q = 25,44625 \exp(-\exp(0,97139 - 0,02667I))$	d	0,55	99,09
5 x 5	$q = 24,17545 \exp(-\exp(0,99300 - 0,02951I))$	d	0,57	99,05
5 x 1,5	$B = 25,87927 \exp(-\exp(1,27868 - 0,01757I))$	cd	1,73	84,64
3,5 x 2,2	$B = 16,69650 \exp(-\exp(1,75193 - 0,04671I))$	fg	0,99	97,15
3,5 x 2,4	$B = 22,09535 \exp(-\exp(1,38699 - 0,03438I))$	j	1,02	97,47
3,5 x 2,6	$B = 16,67820 \exp(-\exp(1,73077 - 0,04766I))$	eg	1,52	93,59
3,5 x 2,8	$B = 17,83193 \exp(-\exp(1,70218 - 0,04571I))$	ef	1,39	95,09
4 x 3	$B = 14,74091 \exp(-\exp(1,68579 - 0,04169I))$	i	1,06	95,52
5 x 3	$B = 15,25189 \exp(-\exp(1,56531 - 0,03194I))$	bd	1,27	92,01
4 x 4	$B = 16,09103 \exp(-\exp(1,63389 - 0,02990I))$	c	0,85	96,06
6 x 3	$B = 41,87357 \exp(-\exp(1,55889 - 0,01128I))$	h	1,23	79,97
5 x 4	$B = 11,21519 \exp(-\exp(1,62414 - 0,02925I))$	b	0,71	94,32
6 x 4	$B = 17,40204 \exp(-\exp(1,68488 - 0,02624I))$	a	0,68	96,94
5 x 5	$B = 13,78795 \exp(-\exp(1,69464 - 0,03011I))$	a	0,56	97,60
5 x 1,5	$Vcc = 401,25960 \exp(-\exp(1,70787 - 0,01345I))$	bd	8,51	90,23
3,5 x 2,2	$Vcc = 99,05156 \exp(-\exp(2,18990 - 0,04704I))$	f	4,46	98,54
3,5 x 2,4	$Vcc = 145,33808 \exp(-\exp(1,78091 - 0,03332I))$	j	4,90	98,63
3,5 x 2,6	$Vcc = 98,48137 \exp(-\exp(2,17458 - 0,04782I))$	ef	7,32	96,23
3,5 x 2,8	$Vcc = 111,34415 \exp(-\exp(2,03064 - 0,04274I))$	e	6,64	97,18
4 x 3	$Vcc = 88,56325 \exp(-\exp(2,11750 - 0,04291I))$	i	5,17	97,28
5 x 3	$Vcc = 102,64128 \exp(-\exp(1,90093 - 0,03142I))$	cd	6,35	94,77
4 x 4	$Vcc = 104,34689 \exp(-\exp(1,98558 - 0,03116I))$	bc	4,33	97,33
6 x 3	$Vcc = 291,88984 \exp(-\exp(1,84271 - 0,01350I))$	h	6,29	85,26
5 x 4	$Vcc = 71,26788 \exp(-\exp(1,99949 - 0,03103I))$	g	3,69	95,81
6 x 4	$Vcc = 107,31311 \exp(-\exp(2,03195 - 0,02903I))$	a	3,50	97,81
5 x 5	$Vcc = 88,12736 \exp(-\exp(2,03903 - 0,03167I))$	a	2,84	98,36

*Todos os coeficientes foram significativos pelo teste t ($p < 0,05$). **Mesma letra, para cada variável, indica igualdade entre as equações ($p > 0,05$), pelo teste F (teste de identidade de modelo).

Comparando-se a área basal / ha e volume com casca /ha e seus respectivos valores observados e estimados e frequência de dispersão do resíduo dos tratamentos com 5 x 1,5 e 6 x 3 m com aqueles com 3,5 x 2,2 e 5 x 4 m pode-se observar a maior dispersão dessas variáveis nesses tratamentos (Figura 3). Possivelmente, isso se deve à sobrevivência das plantas de teca observada nas parcelas desses tratamentos, que foi inferior aos demais (55 e 54 %, respectivamente).

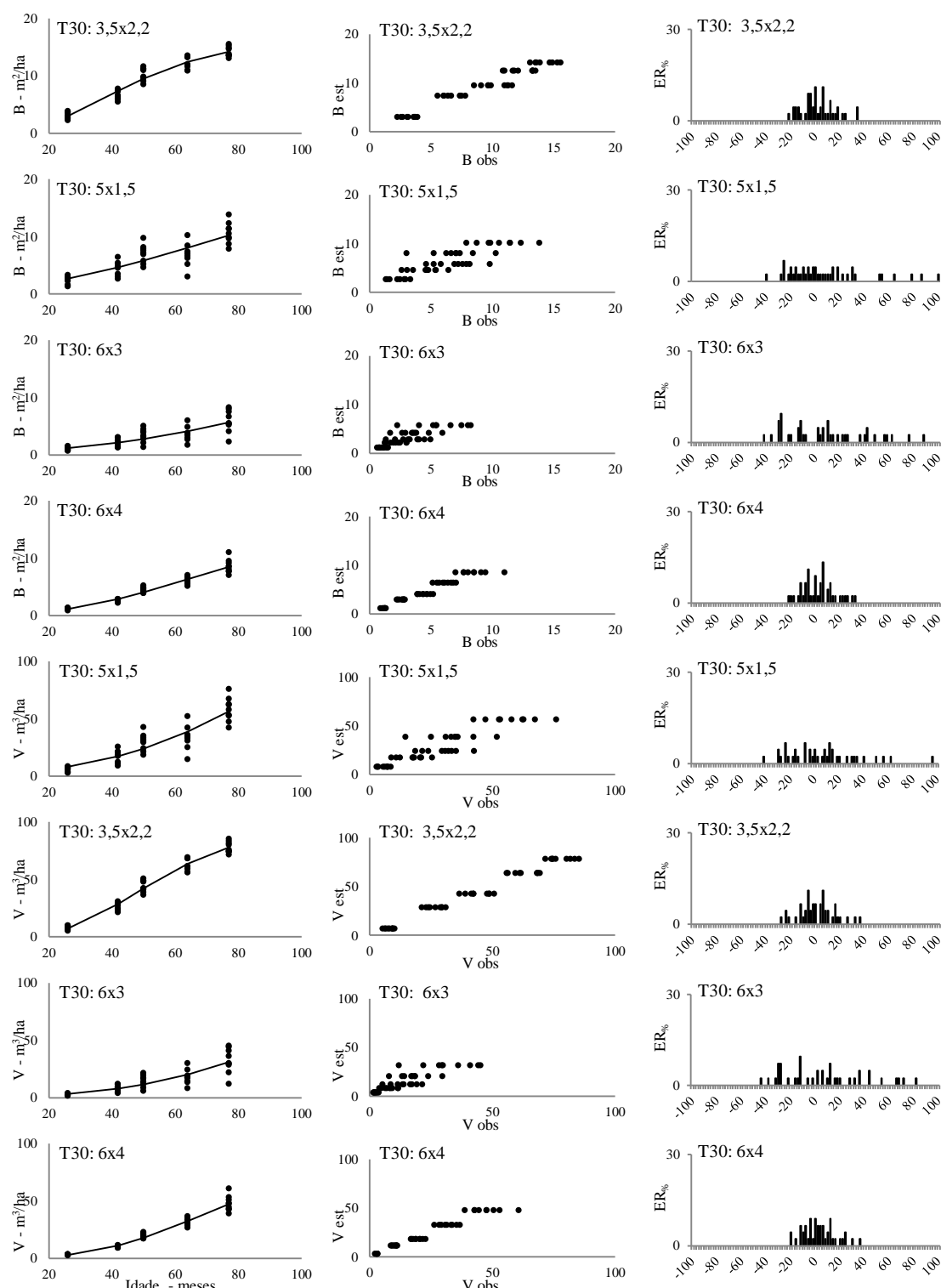


Figura 3: Valores observados (.....) e estimados (—) e distribuição de frequência dos erros relativos percentuais ($ER\%$) da área basal/ha (B) e volume com casca/ha (V) em diferentes espaçamentos e arranjos espaciais, no talhão 30.

No talhão 31 verificou-se que as equações ajustadas apresentaram, na sua maioria, coeficiente de correlação entre as variáveis dependentes (Ht, q, B e Vcc) e independentes (idade) acima de 90 % e baixo erro padrão residual (Tabela 3). Contudo, nos espaçamentos com 5 x 1,5; 6 x 3 e 5 x 4 m apresentaram ajuste inferior aos demais.

Tabela 3: Parâmetros do modelo Gompertz ajustados para as variáveis altura total (Ht), diâmetro quadrático médio (q), área basal/ha (B) e volume com casca/ha (Vcc) de teca (talhão 31), em diferentes espaçamentos e arranjos espaciais, correspondentes teste de identidade de modelo (T) e estatísticas de exatidão (Syx) e de precisão (Ry \hat{y}) das equações.

Espaçamento (m)	Equação*	T**	Syx	Ry \hat{y}
5 x 1,5	$Ht = 12,61845 \exp(-\exp(0,95750 - 0,03667I))$	d	0,64	96,17
3,5 x 2,2	$Ht = 13,23865 \exp(-\exp(0,96933 - 0,03822I))$	de	0,18	99,72
3,5 x 2,4	$Ht = 13,51479 \exp(-\exp(1,01547 - 0,03890I))$	fgh	0,19	99,69
3,5 x 2,6	$Ht = 13,74569 \exp(-\exp(0,94781 - 0,03668I))$	eh	0,18	99,71
3,5 x 2,8	$Ht = 13,86774 \exp(-\exp(1,00809 - 0,03838I))$	fg	0,19	99,71
4 x 3	$Ht = 14,13239 \exp(-\exp(1,02123 - 0,03720I))$	f	0,33	99,21
5 x 3	$Ht = 14,78810 \exp(-\exp(1,02113 - 0,03617I))$	abc	0,33	99,28
4 x 4	$Ht = 15,00800 \exp(-\exp(1,05364 - 0,03741I))$	abc	0,28	99,50
6 x 3	$Ht = 14,56993 \exp(-\exp(0,99364 - 0,03184I))$	d	1,09	92,00
5 x 4	$Ht = 14,43857 \exp(-\exp(1,01455 - 0,03409I))$	ef	0,88	94,77
6 x 4	$Ht = 15,65131 \exp(-\exp(1,03861 - 0,03396I))$	ab	0,56	98,16
5 x 5	$Ht = 15,66388 \exp(-\exp(1,02894 - 0,03411I))$	a	0,49	98,56
5 x 1,5	$q = 12,98497 \exp(-\exp(0,83571 - 0,04115I))$	h	1,14	88,37
3,5 x 2,2	$q = 14,22596 \exp(-\exp(0,88209 - 0,04452I))$	bc	0,21	99,59
3,5 x 2,4	$q = 15,04296 \exp(-\exp(0,96361 - 0,04427I))$	bce	0,28	99,45
3,5 x 2,6	$q = 14,87552 \exp(-\exp(0,88397 - 0,04373I))$	bce	0,26	99,46
3,5 x 2,8	$q = 15,61773 \exp(-\exp(0,98880 - 0,04512I))$	bde	0,28	99,50
4 x 3	$q = 15,95427 \exp(-\exp(1,01872 - 0,04335I))$	d	0,73	96,98
5 x 3	$q = 18,12795 \exp(-\exp(0,94445 - 0,03697I))$	g	0,70	97,72
4 x 4	$q = 19,01657 \exp(-\exp(1,05044 - 0,03994I))$	a	0,63	98,44
6 x 3	$q = 17,25137 \exp(-\exp(0,88423 - 0,03098I))$	c	2,12	80,57
5 x 4	$q = 16,70247 \exp(-\exp(0,97339 - 0,03706I))$	b	1,86	85,03
6 x 4	$q = 21,16286 \exp(-\exp(0,97074 - 0,03161I))$	a	1,24	94,75
5 x 5	$q = 21,64124 \exp(-\exp(0,98932 - 0,03186I))$	a	1,20	95,35
5 x 1,5	$B = 15,25586 \exp(-\exp(1,59512 - 0,04371I))$	def	2,72	79,35
3,5 x 2,2	$B = 19,25285 \exp(-\exp(1,66812 - 0,04763I))$	h	0,60	99,16
3,5 x 2,4	$B = 19,65027 \exp(-\exp(1,70853 - 0,04604I))$	h	0,78	98,67
3,5 x 2,6	$B = 17,43695 \exp(-\exp(1,62063 - 0,04509I))$	g	1,12	96,48
3,5 x 2,8	$B = 18,41202 \exp(-\exp(1,74195 - 0,04706I))$	g	1,20	96,64
4 x 3	$B = 15,00831 \exp(-\exp(1,78622 - 0,04595I))$	def	1,32	94,21
5 x 3	$B = 16,68562 \exp(-\exp(1,69507 - 0,03924I))$	de	1,43	93,66
4 x 4	$B = 16,21682 \exp(-\exp(1,81839 - 0,04251I))$	d	1,03	96,69
6 x 3	$B = 10,55990 \exp(-\exp(1,68738 - 0,03645I))$	abc	2,42	69,11
5 x 4	$B = 9,51474 \exp(-\exp(1,77091 - 0,04127I))$	abc	2,08	73,51
6 x 4	$B = 13,29893 \exp(-\exp(1,71338 - 0,03322I))$	ab	1,39	88,99
5 x 5	$B = 12,97195 \exp(-\exp(1,73099 - 0,03409I))$	a	1,45	88,05
5 x 1,5	$Vcc = 87,87002 \exp(-\exp(2,08653 - 0,044000I))$	def	13,89	84,68
3,5 x 2,2	$Vcc = 112,20987 \exp(-\exp(2,17491 - 0,04799I))$	gh	3,06	99,47
3,5 x 2,4	$Vcc = 115,34234 \exp(-\exp(2,25181 - 0,04824I))$	gh	4,28	99,04
3,5 x 2,6	$Vcc = 103,78557 \exp(-\exp(2,13461 - 0,04595I))$	i	5,71	97,81
3,5 x 2,8	$Vcc = 109,15232 \exp(-\exp(2,28934 - 0,04930I))$	g	6,26	97,82

4 x 3	$V_{cc} = 88,71810 \exp(-\exp(2,33505 - 0,04883I))$	def	7,20	95,72
5 x 3	$V_{cc} = 102,68118 \exp(-\exp(2,22378 - 0,04274I))$	de	8,18	95,08
4 x 4	$V_{cc} = 98,36009 \exp(-\exp(2,40211 - 0,04760I))$	d	6,08	97,35
6 x 3	$V_{cc} = 63,99372 \exp(-\exp(2,18082 - 0,03966I))$	abc	13,71	73,03
5 x 4	$V_{cc} = 56,71399 \exp(-\exp(2,31180 - 0,04515I))$	abc	11,83	77,31
6 x 4	$V_{cc} = 82,28391 \exp(-\exp(2,22255 - 0,03804I))$	ab	8,23	90,74
5 x 5	$V_{cc} = 81,05324 \exp(-\exp(2,23780 - 0,03864I))$	a	8,71	89,80

*Todos os coeficientes foram significativos pelo teste t ($p < 0,05$). **Mesma letra, para cada variável, indica igualdade entre as equações ($p > 0,05$), pelo teste F (teste de identidade de modelo).

Verificou-se no talhão 31 que as menores exatidões ocorreram nos espaçamentos com 5 x 1,5; 6 x 3 e 5 x 4 m, e que também apresentaram taxa de sobrevivência inferior em relação aos demais (86, 86 e 88 %, respectivamente).

As dispersões das variáveis do diâmetro quadrático médio e volume com casca / ha, observados e estimados e a frequência de casos por classe de resíduo nestes espaçamentos estão apresentadas na Figura 4.

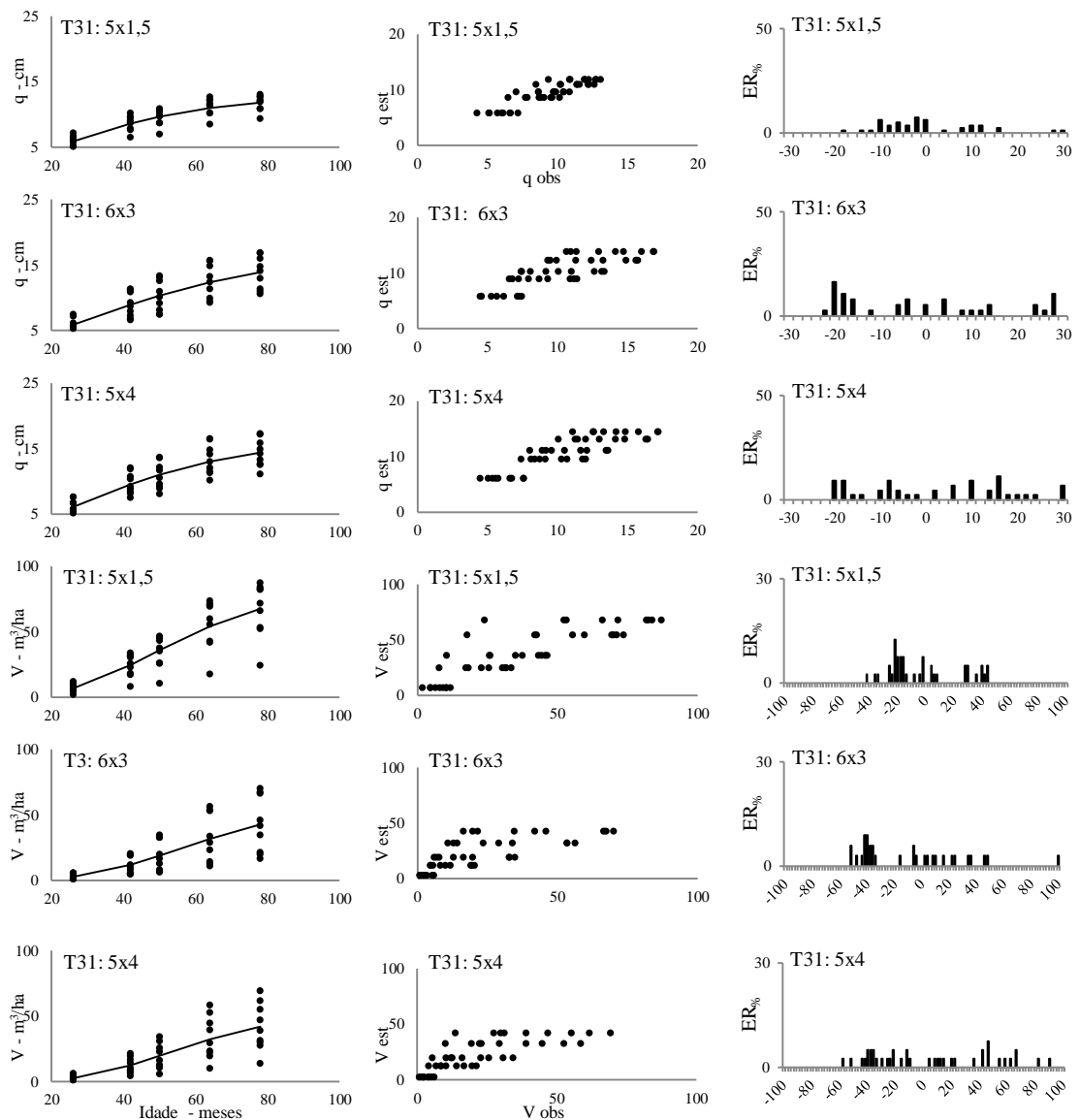


Figura 4: Valores observados (.....) e estimados (—) e distribuição de frequência dos erros relativos percentuais (ER%) do diâmetro quadrático médio (q) e volume com casca / ha (V) em diferentes espaçamentos e arranjos espaciais, no talhão 31.

Com as equações ajustadas estimou-se o crescimento (Ht e q) e produção (B e Vcc) em função da idade, e traçaram-se curvas com base nas idades atuais, projetando também para idades futuras (84 e 96 meses) para avaliar a tendência de crescimento para os respectivos espaçamentos e arranjos espaciais nos talhões 30 (Figura 5) e 31 (Figura 6).

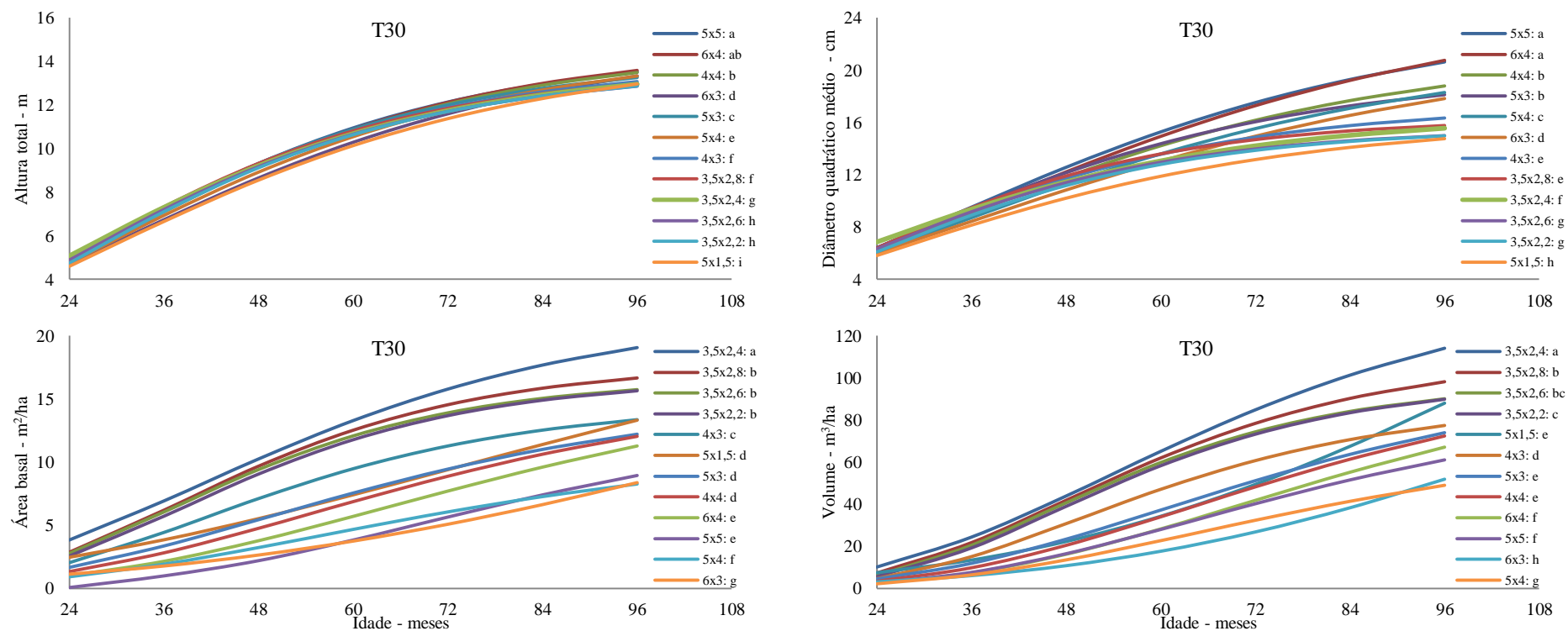


Figura 5: Estimativa e tendência de crescimento em altura total, diâmetro quadrático médio, área basal/ha e volume com casca/ha de teca nos respectivos espaçamentos e idades para o talhão 30. Na legenda, mesma letra para cada variável entre os tratamentos, indica que estes apresentam igualdade na tendência de crescimento ($p > 0,05$), pelo teste F (teste de identidade de modelo).

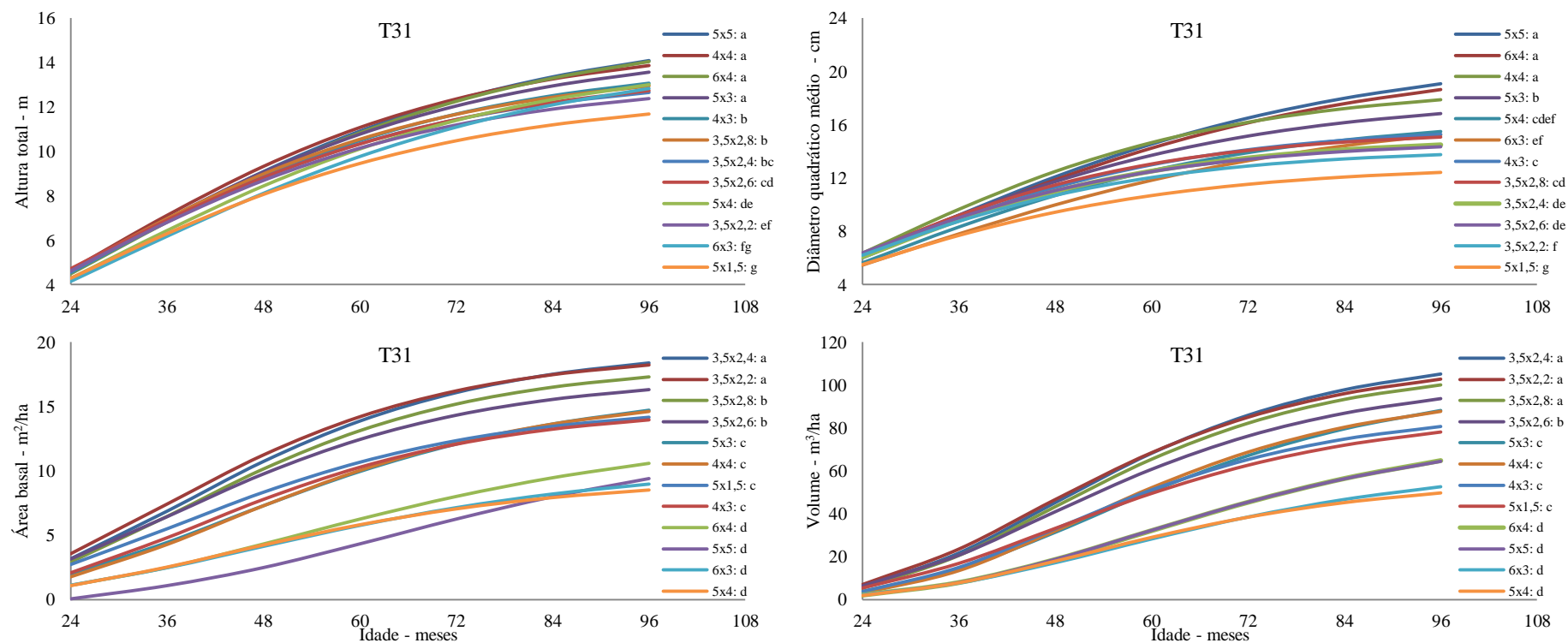


Figura 6: Estimativa e tendência de crescimento em altura total, diâmetro quadrático médio, área basal/ha e volume com casca/ha de teca nos respectivos espaçamentos e idades para o talhão 31. Na legenda, mesma letra para cada variável entre os tratamentos, indica que estes apresentam igualdade na tendência de crescimento ($p > 0,05$), pelo teste F (teste de identidade de modelo).

No talhão 30 verificou-se que a altura total média observada nos maiores espaçamentos (5 x 5 e 6 x 4 m) difere estatisticamente dos demais ($p < 0,05$). Resultado semelhante foi observado no talhão 31, em que nos espaçamentos 5 x 5; 6 x 4; 4 x 4 e 5 x 3 m as árvores apresentaram alturas totais iguais ($p > 0,05$) e superiores aos demais. À medida que diminuiu-se os espaçamentos, a altura média total observada também diminuiu.

Contudo, do ponto de vista biológico verificou-se semelhança na tendência de crescimento em altura total em todos os espaçamentos e arranjos espaciais.

Para o diâmetro médio observou-se que nos espaçamentos 5 x 5 e 6 x 4 m no talhão 30 as árvores apresentaram tendência de crescimento semelhante, porém, diferiram dos demais ($p < 0,05$). Resultado semelhante foi observado nestes mesmos espaçamentos e naquele com 4 x 4 m no talhão 31. A tendência de crescimento do diâmetro médio no espaçamento 5 x 1,5 m, considerado mais adensado, diferiu dos demais nos dois talhões, inclusive, com tendência de estagnação do crescimento, demonstrando o efeito da densidade sobre o crescimento.

A área basal / ha observada foi diretamente proporcional à densidade de plantio. Quanto menores os espaçamentos, maiores foram os valores observados de área basal / ha, de modo que nos espaçamentos com 3,5 x 2,4 (talhão 30), 3,5 x 2,4 e 3,5 x 2,2 m (talhão 31) a área basal / ha diferiu dos demais espaçamentos ($p < 0,05$). Nestes espaçamentos verificou-se uma tendência de estagnação do crescimento. Por outro lado, nos espaçamentos amplos, como, 6 x 4; 5 x 5; 5 x 4 e 6 x 3 m, (talhão 31) os valores de área basal / ha não diferiram entre si ($p > 0,05$). Entretanto, no talhão 30 e espaçamento com 6 x 3 m, a área basal / ha diferiu dos demais ($p < 0,05$), seguido pelo de 5 x 4 m. Nesses espaçamentos observou-se sobrevivência inferior aos demais, conforme já discutido anteriormente, e isso pode ter influenciado nos resultados.

Tanto no talhão 30, quanto no 31, o volume total com casca / ha apresentou comportamento semelhante ao da área basal / ha, onde nos espaçamentos mais adensados houve tendência de produção superior em relação aos maiores espaçamentos.

Apesar do fato de que nos espaçamentos considerados adensados (3,5 x 2,4; 3,5 x 2,2; 3,5 x 2,8 m) ter maior volume com casca / ha em relação aos mais amplos (5 x 4 e 6 x 3 m), consequência do maior número de indivíduos, observou-se que o volume médio por planta é menor nesses espaçamentos (Figura 7).

Por exemplo, no espaçamento 3,5 x 2,4 m, considerado adensado, a média do volume com casca foi de $93,01 \pm 4,42$ e $91,39 \pm 7,10 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (talhões 30 e 31). Isto é 49 e

44 % superior ao volume com casca observado no espaçamento 6 x 4 m, considerado mais amplo, que foi de $47,70 \pm 6,54$ e $51,06 \pm 14,32 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, respectivamente talhões 30 e 31. Por outro lado, o volume individual com casca observado no espaçamento 5 x 5 m, considerado amplo, foi de $0,146 \pm 0,006$ e $0,137 \pm 0,029 \text{ m}^3$ por planta (talhões 30 e 31). Isto é 46 e 58 % superior ao volume individual observado no espaçamento 5 x 1,5 m, considerado amplo, que foi de $0,079 \pm 0,008$ e $0,057 \pm 0,013 \text{ m}^3$ por planta.

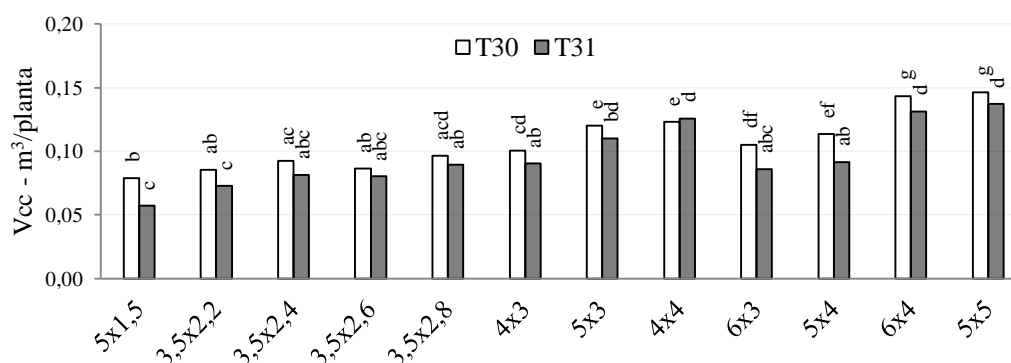


Figura 7: Volume médio com casca (Vcc) por planta de teca em diferentes espaçamentos, arranjos espaciais e talhões (T30 e T31), aos 78 meses de idade. Dentro de um mesmo talhão, médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, a 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey.

3.2 Determinação da idade técnica de desbaste

As equações ajustadas para projeção da distribuição de diâmetros nos espaçamentos, arranjos espaciais e talhões encontram-se na tabela 4.

Tabela 4: Equações do modelo de distribuição de diâmetros para teca em diferentes espaçamentos e arranjos espaciais e correspondente estatística de precisão ($R_{y\hat{y}}$).

Talhão	Espaçamento (m)	Equação*	$R_{y\hat{y}}$
30	5x1,5	$\gamma_2 = \gamma_1(I_1 / I_2) + 0,47434(1 - I_1 / I_2)q_2$	65,52
		$\beta_2 = \beta_1(I_1 / I_2) + 1,60077(1 - I_1 / I_2)q_2$	95,01
		$q_2 = 3,73657 + 0,79913q_1$	98,67
	3,5x2,2	$\gamma_2 = \gamma_1(I_1 / I_2) + 6,40696(1 - I_1 / I_2)$	33,79
		$\beta_2 = \beta_1(I_1 / I_2) + 1,55775(1 - I_1 / I_2)q_2$	94,17
		$q_2 = 5,24882 + 0,67263q_1$	99,25
	3,5x2,4	$\gamma_2 = \gamma_1(I_1 / I_2) + 0,62087(1 - I_1 / I_2)q_2$	61,24
		$\beta_2 = \beta_1(I_1 / I_2) + 1,58548(1 - I_1 / I_2)q_2$	98,77
		$q_2 = 4,98100 + 0,70593q_1$	98,88
	3,5x2,6	$\gamma_2 = \gamma_1(I_1 / I_2) + 7,11155(1 - I_1 / I_2)$	70,28
		$\beta_2 = \beta_1(I_1 / I_2) + 1,57549(1 - I_1 / I_2)q_2$	94,33
		$q_2 = 4,99936 + 0,73040q_1$	99,39
	3,5x2,8	$\gamma_2 = \gamma_1(I_1 / I_2) + 6,17613(1 - I_1 / I_2)$	54,39
		$\beta_2 = \beta_1(I_1 / I_2) + 1,58034(1 - I_1 / I_2)q_2$	93,49

		$q_2 = 5,70338 + 0,66076q_1$	99,13
31	4x3	$\gamma_2 = \gamma_1(I_1 / I_2) + 0,66664(1 - I_1 / I_2)q_2$	43,44
		$\beta_2 = \beta_1(I_1 / I_2) + 1,6691(1 - I_1 / I_2)q_2$	95,66
		$q_2 = 4,70317 + 0,83321q_1$	99,20
	5x3	$\gamma_2 = \gamma_1(I_1 / I_2) + 6,55439(1 - I_1 / I_2)$	83,81
		$\beta_2 = \beta_1(I_1 / I_2) + 1,64696(1 - I_1 / I_2)q_2$	95,91
		$q_2 = 4,82534 + 0,78538q_1$	99,25
	4x4	$\gamma_2 = \gamma_1(I_1 / I_2) + 6,22174(1 - I_1 / I_2)$	60,85
		$\beta_2 = \beta_1(I_1 / I_2) + 1,68555(1 - I_1 / I_2)q_2$	97,21
		$q_2 = 4,31121 + 0,83750q_1$	99,59
	6x3	$\gamma_2 = \gamma_1(I_1 / I_2) + 7,80668(1 - I_1 / I_2)$	53,08
		$\beta_2 = \beta_1(I_1 / I_2) + 1,68055(1 - I_1 / I_2)q_2$	97,16
		$q_2 = 3,37038 + 0,89424q_1$	99,22
	5x4	$\gamma_2 = \gamma_1(I_1 / I_2) + 6,56086(1 - I_1 / I_2)$	64,28
		$\beta_2 = \beta_1(I_1 / I_2) + 1,69388(1 - I_1 / I_2)q_2$	97,10
		$q_2 = 3,78076 + 0,86953q_1$	99,62
	6x4	$\gamma_2 = \gamma_1(I_1 / I_2) + 8,37672(1 - I_1 / I_2)$	
		$\beta_2 = \beta_1(I_1 / I_2) + 1,69815(1 - I_1 / I_2)q_2$	97,09
		$q_2 = 3,95335 + 0,89866q_1$	99,61
	5x5	$\gamma_2 = \gamma_1(I_1 / I_2) + 8,83479(1 - I_1 / I_2)$	77,73
		$\beta_2 = \beta_1(I_1 / I_2) + 1,67643(1 - I_1 / I_2)q_2$	96,42
		$q_2 = 4,40855 + 0,86339q_1$	99,54
	5x1,5	$\gamma_2 = \gamma_1(I_1 / I_2) + 6,04581(1 - I_1 / I_2)$	65,98
		$\beta_2 = \beta_1(I_1 / I_2) + 1,56489(1 - I_1 / I_2)q_2$	97,72
		$q_2 = 3,96734 + 0,71675q_1$	93,31
	3,5x2,2	$\gamma_2 = \gamma_1(I_1 / I_2) + 6,92119(1 - I_1 / I_2)$	32,54
		$\beta_2 = \beta_1(I_1 / I_2) + 1,531961(1 - I_1 / I_2)q_2$	84,17
		$q_2 = 5,62764 + 0,59632q_1$	96,48
	3,5x2,4	$\gamma_2 = \gamma_1(I_1 / I_2) + 6,43479(1 - I_1 / I_2)$	38,67
		$\beta_2 = \beta_1(I_1 / I_2) + 1,56138(1 - I_1 / I_2)q_2$	96,49
		$q_2 = 5,69393 + 0,61697q_1$	95,87
	3,5x2,6	$\gamma_2 = \gamma_1(I_1 / I_2) + 6,92789(1 - I_1 / I_2)$	37,48
		$\beta_2 = \beta_1(I_1 / I_2) + 1,53361(1 - I_1 / I_2)q_2$	96,49
		$q_2 = 5,71986 + 0,60910q_1$	95,54
	3,5x2,8	$\gamma_2 = \gamma_1(I_1 / I_2) + 6,74330(1 - I_1 / I_2)$	
		$\beta_2 = \beta_1(I_1 / I_2) + 1,55578(1 - I_1 / I_2)q_2$	96,61
		$q_2 = 6,06105 + 0,60504q_1$	95,28
	4x3	$\gamma_2 = \gamma_1(I_1 / I_2) + 7,64330(1 - I_1 / I_2)$	54,21
		$\beta_2 = \beta_1(I_1 / I_2) + 1,57896(1 - I_1 / I_2)q_2$	96,87
		$q_2 = 5,72503 + 0,64020q_1$	93,55
	5x3	$\gamma_2 = \gamma_1(I_1 / I_2) + 6,75120(1 - I_1 / I_2)$	80,51
		$\beta_2 = \beta_1(I_1 / I_2) + 1,62198(1 - I_1 / I_2)q_2$	98,57
		$q_2 = 5,25887 + 0,72014q_1$	95,49
	4x4	$\gamma_2 = \gamma_1(I_1 / I_2) + 6,30531(1 - I_1 / I_2)$	64,60
		$\beta_2 = \beta_1(I_1 / I_2) + 1,64698(1 - I_1 / I_2)q_2$	97,82
		$q_2 = 6,04056 + 0,68612q_1$	95,10

6x3	$\gamma_2 = \gamma_1(I_1 / I_2) + 5,74302(1 - I_1 / I_2)$	58,84
	$\beta_2 = \beta_1(I_1 / I_2) + 1,65353(1 - I_1 / I_2)q_2$	99,38
	$q_2 = 2,81940 + 0,91260q_1$	96,58
5x4	$\gamma_2 = \gamma_1(I_1 / I_2) + 5,56508(1 - I_1 / I_2)$	80,77
	$\beta_2 = \beta_1(I_1 / I_2) + 1,66438(1 - I_1 / I_2)q_2$	98,08
	$q_2 = 3,93121 + 0,81164q_1$	93,94
6x4	$\gamma_2 = \gamma_1(I_1 / I_2) + 5,99453(1 - I_1 / I_2)$	66,27
	$\beta_2 = \beta_1(I_1 / I_2) + 1,67931(1 - I_1 / I_2)q_2$	99,21
	$q_2 = 4,32823 + 0,83960q_1$	96,72
5x5	$\gamma_2 = \gamma_1(I_1 / I_2) + 6,19719(1 - I_1 / I_2)$	78,95
	$\beta_2 = \beta_1(I_1 / I_2) + 1,69837(1 - I_1 / I_2)q_2$	98,65
	$q_2 = 4,71651 + 0,81488q_1$	95,38

*Todos os coeficientes foram significativos pelo teste t ($p < 0,05$).

Em todos os espaçamentos e arranjos espaciais verificou-se alta correlação entre variáveis que compõem o sistema de equações, nas idades atuais (I_1) e futuras (I_2). Na Figura 8 são apresentadas algumas dessas variáveis, considerando todos os tratamentos em cada local (talhão).

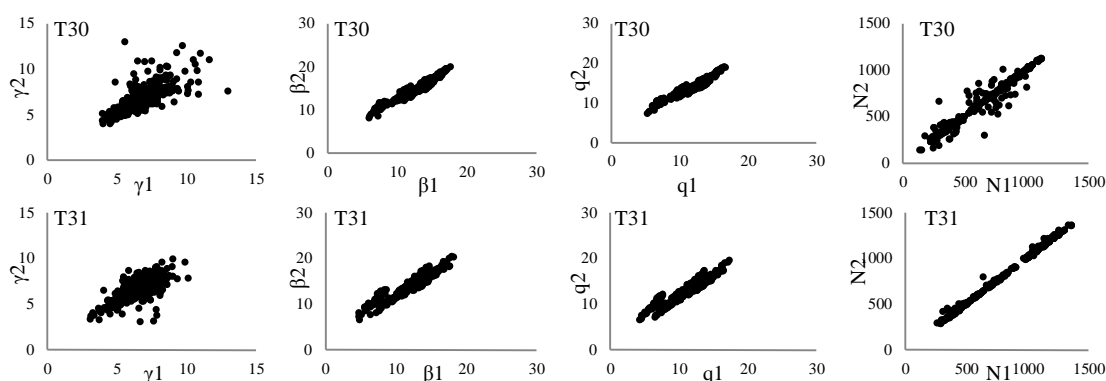


Figura 8: Relação entre variáveis que compõem o sistema de equações para predição das classes diamétricas, considerando todos os espaçamentos e arranjos espaciais em cada talhão (T).

Aos 78 meses de idade as distribuições diamétricas observadas apresentaram tendência de distribuição Weibull em todos os espaçamentos e arranjos espaciais.

De acordo com o procedimento estatístico proposto por Leite e Oliveira (2002) em todos os espaçamentos a distribuição diamétrica observada foi semelhante ($p > 0,05$) à distribuição estimada pelo modelo de distribuição de diâmetros (MDD) (Figura 9), exceto nos espaçamentos com 3,5 x 2,6; 3,5 x 2,8 e 4 x 3 m (talhão 30) e 3,5 x 2,8; 6 x 3 e 5 x 4 m (talhão 31), em que a distribuição diamétrica observada diferiu da estimada ($p < 0,05$).

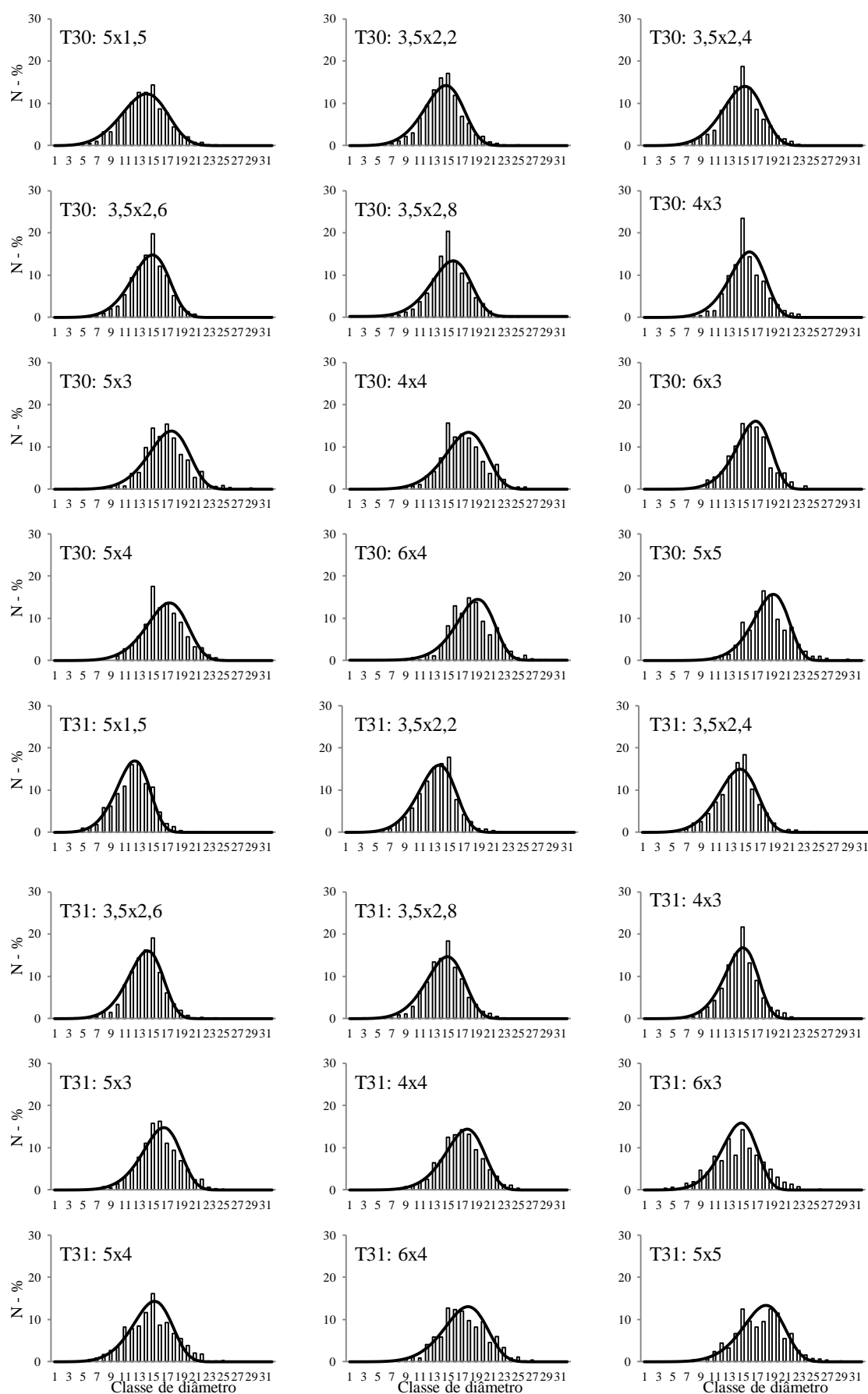


Figura 9: Porcentagem de árvores de *Tectona grandis* (N) observada (barras) e estimada (linha) pelo MDD, por classe de diâmetro, espaçamento e talhão (T), aos 78 meses de idade.

Nos espaçamentos mais adensados (3,5 x 2,2; 3,5 x 2,4; 3,5 x 2,6; 3,5 x 2,8 e 4 x 3 m) verificou-se que a distribuição dos indivíduos nas classes de diâmetro apresenta uma forma mais leptocúrtica, com maior porcentagem de indivíduos nas classes centrais, diâmetros distribuídos em um menor número de classes, sendo que a última classe com presença de indivíduos foi 23. Por outro lado, nos espaçamentos mais amplos (5 x 3; 4 x 4; 6 x 3; 5 x 4; 6 x 4 e 5 x 5 m) a distribuição apresenta uma forma menos leptocúrtica, alcançando maior número de classes, menor porcentagem de indivíduos nas classes centrais, sendo que a classe com centro em 26 foi a última em que foram observados presença de indivíduos.

Entre os menores espaçamentos, o 5 x 1,5 m (talhão 30) apresentou características diferentes dos demais, principalmente por apresentar uma forma mais platicúrtica, semelhante ao maiores espaçamentos (menos adensados).

Com as equações ajustadas para cada espaçamento e talhão foi estimado o número de árvores em cada classe de diâmetro (Figuras 10 e 11). Nas idades mais jovens as curvas apresentam forma leptocúrtica e menor número de classes com indivíduos. Nas idades mais avançadas as curvas se achatam, deslocam-se para a direita e aumenta o número de classes com indivíduos. Este comportamento é biologicamente esperado.

Nos espaçamentos com 5 x 1,5; 3,5 x 2,2; 3,5 x 2,4; 3,5 x 2,6; 3,5 x 2,8 e 4 x 3 m constatou-se menor ingresso nas sucessivas classes de diâmetro. Dentre estes, o primeiro (5 x 1,5 m) apresentou forma mais achatada em relação aos demais, provavelmente, devido à baixa sobrevivência ou, do arranjo das plantas e retangularidade. Nos espaçamentos mais amplos (5 x 3; 4 x 4; 6 x 3; 5 x 4; 6 x 4 e 5 x 5 m) houve um maior ingresso nas sucessivas classes diamétricas com a idade. Além disso, as curvas se apresentam mais platicúrtica e abrangem maior número de classes.

A distribuição dos diâmetros dos indivíduos nas respectivas classes diamétricas nos dois talhões foi semelhante, no entanto, no talhão 31 observou-se uma redução na amplitude de ocorrência de indivíduos nas classes diamétricas, sobretudo nos menores espaçamentos.

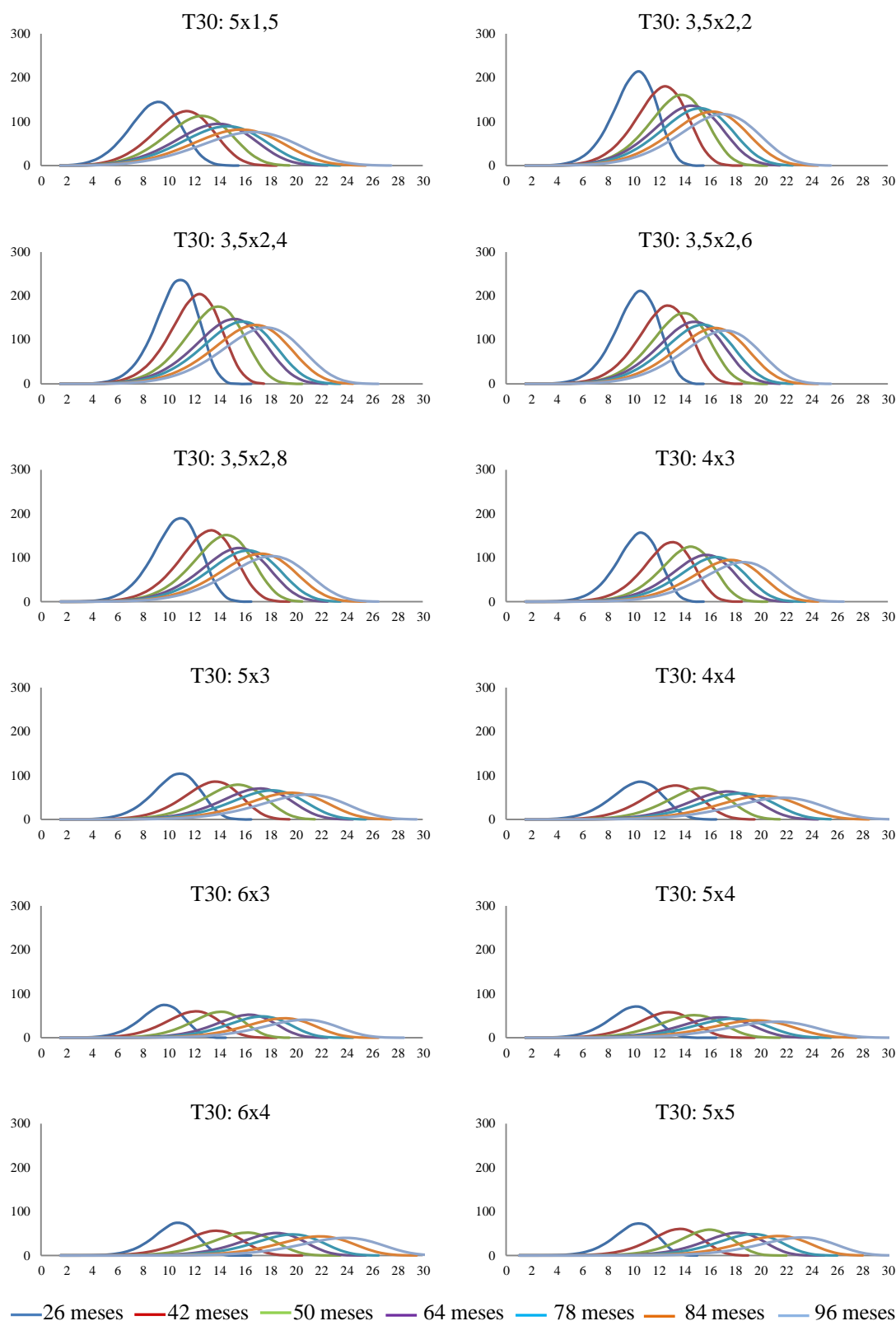


Figura 10: Número de árvores de *Tectona grandis* por hectare (eixo y), por classe de diâmetro (eixo x), em diferentes espaçamentos e arranjos espaciais, no talhão 30.

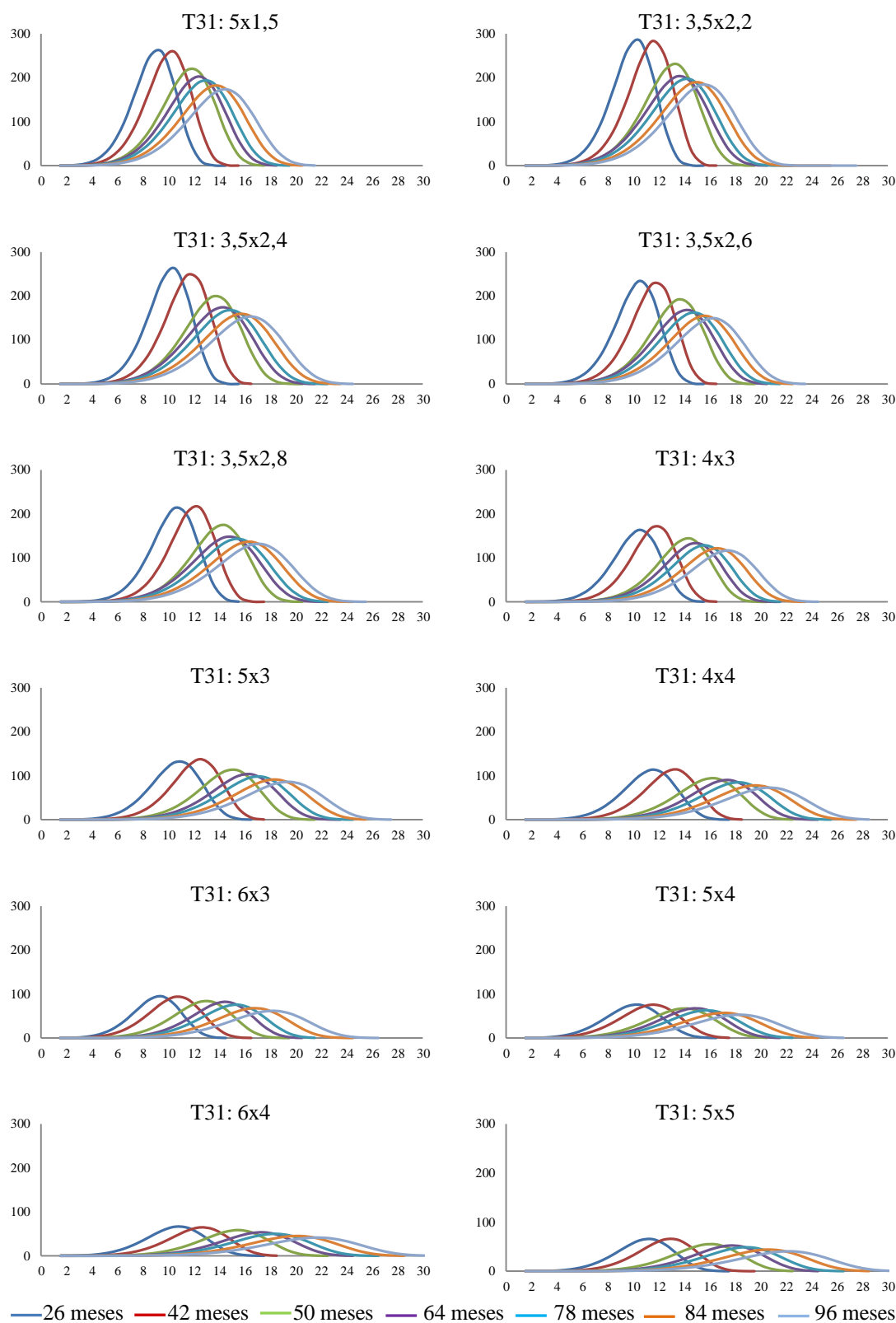


Figura 11: Número de árvores de *Tectona grandis* por hectare (eixo y), por classe de diâmetro (eixo x), em diferentes espaçamentos e arranjos espaciais, no talhão 31.

O sistema de equações proposto para redistribuir os diamétricas é lógico sob o ponto de vista biológico, uma vez que as seguintes tendências ou pressuposições foram satisfeitas:

- A distribuição de diâmetros estimada não difere da observada na maioria dos espaçamentos.
- Os ingressos nas classes de diâmetro são maiores nas idades iniciais e menor nas idades mais avançadas.
- Em espaçamentos menores há maior número de indivíduos em menor número de classes diamétricas. Por outro lado, nos maiores espaçamentos os indivíduos concentram-se em maior número de classes de diâmetro.
- A medida que aumenta a idade do povoamento, o ingresso nas sucessivas classes de diâmetro diminui de forma mais acentuada nos menores espaçamentos.
- Em idades maiores ocorre o achatamento das curvas, com o aumento do número de árvores nas maiores classes de diâmetros.
- A estagnação do crescimento é diretamente proporcional a densidade de plantio.
- O espaçamento e arranjo inicial de plantio determinam a área útil de crescimento para a planta, influenciando na distribuição dos indivíduos nas classes diamétricas.

Observou-se que o modelo expolinear é lógico e apresenta realismo biológico na determinação da idade técnica do primeiro desbaste em teca. As idades técnicas do primeiro desbaste variaram entre 6 (espaçamentos menores) e 8 anos (espaçamentos maiores), o que era esperado. As equações expolineares ajustadas por espaçamento e talhão para estimar o ingresso percentual médio (IPM) e a idade técnica de desbaste (ITD) são apresentadas nas Tabelas 5 e 6.

Tabela 5: Equações expolineares ajustadas por espaçamento e talhão para estimar o ingresso percentual médio mensal (IPM) e a idade técnica de desbaste em anos (ITD), em função da idade (I), em teca em diferentes espaçamentos e arranjos espaciais, no talhão 30 e correspondente estatística de exatidão ($ry\hat{y}$).

Espaçamento (m)	Equação*	$ry\hat{y}$	ITD
5x1,5	$IPM = \left(\frac{-0,02267}{-0,08201}\right) Ln (1 + exp(-0,08201(I - 74,59252)))$	89,31	6,3
3,5x2,2	$IPM = \left(\frac{-0,03191}{-0,10130}\right) Ln (1 + exp(-0,10130(I - 69,13647)))$	92,24	5,8
3,5x2,4	$IPM = \left(\frac{-0,01880}{-0,06893}\right) Ln (1 + exp(-0,06893(I - 78,45199)))$	97,11	6,5
3,5x2,6	$IPM = \left(\frac{-0,03148}{-0,09982}\right) Ln (1 + exp(-0,09982(I - 69,11039)))$	92,62	5,8
3,5x2,8	$IPM = \left(\frac{-0,03149}{-0,09512}\right) Ln (1 + exp(-0,09512(I - 69,33412)))$	91,52	5,8
4x3	$IPM = \left(\frac{-0,02592}{-0,09227}\right) Ln (1 + exp(-0,09227(I - 78,94419)))$	91,91	6,6
5x3	$IPM = \left(\frac{-0,02735}{-0,07548}\right) Ln (1 + exp(-0,07548(I - 77,51978)))$	90,38	6,5
4x4	$IPM = \left(\frac{-0,02231}{-0,07278}\right) Ln (1 + exp(-0,07278(I - 85,23881)))$	92,09	7,1
6x3	$IPM = \left(\frac{-0,02227}{-0,05760}\right) Ln (1 + exp(-0,05760(I - 85,22724)))$	88,24	7,1
5x4	$IPM = \left(\frac{-0,02342}{-0,06948}\right) Ln (1 + exp(-0,06948(I - 83,18801)))$	92,47	6,9
6x4	$IPM = \left(\frac{-0,02503}{-0,06091}\right) Ln (1 + exp(-0,06091(I - 85,18200)))$	90,83	7,1
5x5	$IPM = \left(\frac{-0,02465}{-0,07271}\right) Ln (1 + exp(-0,07271(I - 89,84849)))$	88,65	7,5

Tabela 6: Equações expolineares ajustadas por espaçamento e talhão para estimar o ingresso percentual médio mensal (IPM) e a idade técnica de desbaste em anos (ITD), em função da idade (I), em teca em diferentes espaçamentos e arranjos espaciais, no talhão 31 e correspondente estatística de exatidão ($ry\hat{y}$).

Espaçamento (m)	Equação*	$ry\hat{y}$	ITD
5x1,5	$IPM = \left(\frac{-0,01963}{-0,07402}\right) Ln (1 + exp(-0,07402(I - 75,46306)))$	91,09	6,3
3,5x2,2	$IPM = \left(\frac{-0,01555}{-0,03767}\right) Ln (1 + exp(-0,03767(I - 80,38957)))$	83,12	6,7
3,5x2,4	$IPM = \left(\frac{-0,02744}{-0,08701}\right) Ln (1 + exp(-0,08701(I - 70,92744)))$	94,13	5,9
3,5x2,6	$IPM = \left(\frac{-0,02380}{-0,07580}\right) Ln (1 + exp(-0,07580(I - 71,71789)))$	91,06	6,0
3,5x2,8	$IPM = \left(\frac{-0,02209}{-0,09652}\right) Ln (1 + exp(-0,09652(I - 77,71515)))$	90,83	6,5
4x3	$IPM = \left(\frac{-0,01988}{-0,07963}\right) Ln (1 + exp(-0,07963(I - 81,41645)))$	85,15	6,8
5x3	$IPM = \left(\frac{-0,02073}{-0,06950}\right) Ln (1 + exp(-0,06950(I - 81,28831)))$	90,04	6,8
4x4	$IPM = \left(\frac{-0,01725}{-0,08175}\right) Ln (1 + exp(-0,08175(I - 89,12598)))$	87,82	7,4
6x3	$IPM = \left(\frac{-0,01408}{-0,06111}\right) Ln (1 + exp(-0,06111(I - 95,62883)))$	91,89	7,9
5x4	$IPM = \left(\frac{-0,01154}{-0,06865}\right) Ln (1 + exp(-0,06865(I - 96,73794)))$	82,15	8,1
6x4	$IPM = \left(\frac{-0,01434}{-0,06565}\right) Ln (1 + exp(-0,06565(I - 95,69650)))$	89,64	8,0
5x5	$IPM = \left(\frac{-0,01308}{-0,08672}\right) Ln (1 + exp(-0,08672(I - 103,46097)))$	83,29	8,6

*Todos os coeficientes foram significativos pelo teste t ($p < 0,05$).

O método dos ingressos percentuais foi adequado para determinar a idade técnica do primeiro desbaste em povoamentos de teca implantados em diferentes espaçamentos e arranjos espaciais, uma vez que as idades técnicas de desbaste indicadas pelas equações expolineares estão dentro do intervalo de estagnação identificado visualmente nas Figuras 12 e 13.

Em tese, maiores espaçamentos, com maior área útil por planta, implicam em uma maior idade técnica de desbaste. Entretanto, isso não é totalmente verdadeiro. Os resultados aqui obtidos sugerem que o arranjo espacial, as condições de local e sobrevivência também influenciam os resultados, colocando em dúvida essa hipótese.

Por exemplo, o espaçamento 5 x 3 m, com 15 m² planta⁻¹, em tese apresentaria maior idade técnica de desbaste que o de 4 x 3 m, com 12 m² planta⁻¹. No entanto, verificou-se que a ITD ocorrerá praticamente na mesma idade (6,5 anos). Por outro lado, o espaçamento 6 x 3 m (18 m² planta⁻¹ de área útil), embora tenha mesma distância

entre covas na linha de plantio, apresentou ITD maior que os citados anteriormente (7,1 anos), porém, apresentou sobrevivência inferior (54 %), sendo que nos demais a sobrevivência foi de 72 e 78 %, respectivamente.

Conforme esperado, a maior distância entre linhas não implica necessariamente em uma maior idade técnica do primeiro desbaste. Entre os espaçamentos que possuem 4 m entre covas na linha de plantio (4 x 4; 5 x 4 e 6 x 4 m) a ITD foi praticamente a mesma (7,1, 6,9 e 7,1 anos) e sobrevivência de 70, 64 e 79 %, respectivamente.

Verificou-se que nos espaçamentos com 3,5 x 2,2; 3,5 x 2,6 e 3,5 x 2,8 m que a ITD foi igual para todos (5,8 anos). Porém, no espaçamento 3,5 x 2,4, com arranjo espacial e área útil similar aos demais a ITD foi superior (6,5 anos), sendo atribuindo esse resultado às condições do local, já que a sobrevivência foi semelhante (71, 85, 86 e 86 %).

Entre os espaçamentos com 5 m entre linhas (5 x 1,5; 5 x 4 e 5 x 5 m) observou-se que a ITD aumenta a medida que aumenta o espaçamento entre plantas (6,3, 6,9 e 7,5 anos, respectivamente).

Os resultados aqui obtidos sugerem que seria mais lógico analisar o efeito da distância entre covas sobre a idade técnica de desbaste, considerando ainda efeitos do local.

Apesar de não ser objeto de estudo, observou-se que a idade técnica de desbaste foi menor entre os tratamentos com mesmo espaçamento e arranjo espacial no talhão 30 em relação ao talhão 31, exceto para o tratamento com 3,5 x 2,4 m, que foi maior e no de 5 x 1,5 m, que apresentaram a mesma idade técnica de desbaste. Esses resultados sugerem que a qualidade do local onde encontra-se o talhão 30 seja melhor que a qualidade do local do talhão 31, já que sites de melhor qualidade apresentam maior taxa de crescimento, consequentemente, a estagnação do crescimento é mais precoce.

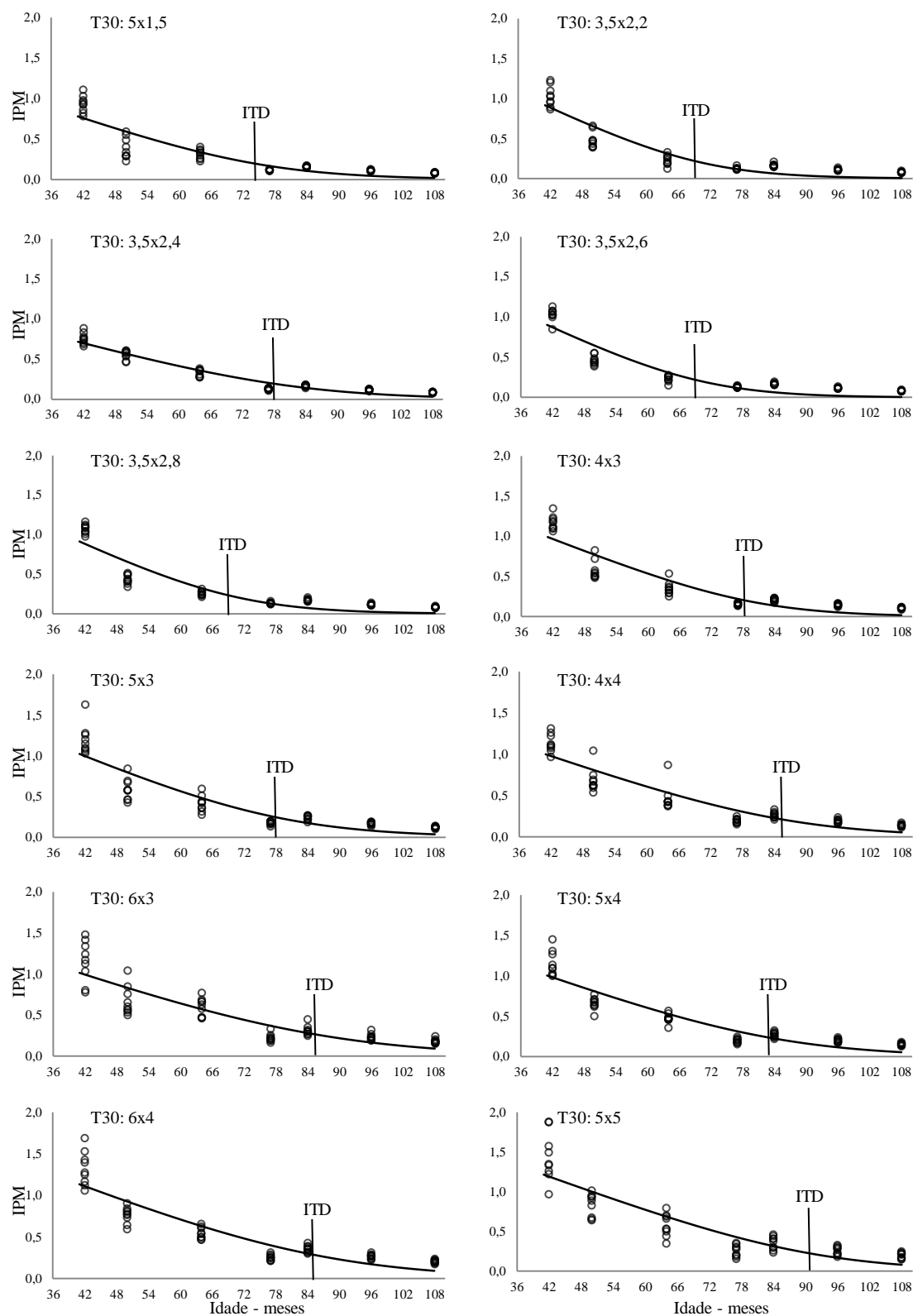


Figura 12: Idade técnica de desbaste (ITD) para *Tectona grandis*, indicada pela curva expolinear ($IPM=f(idade)$) em diferentes espaçamentos e arranjos espaciais no talhão 30 (T), sendo: IPM=ingresso percentual mensal.

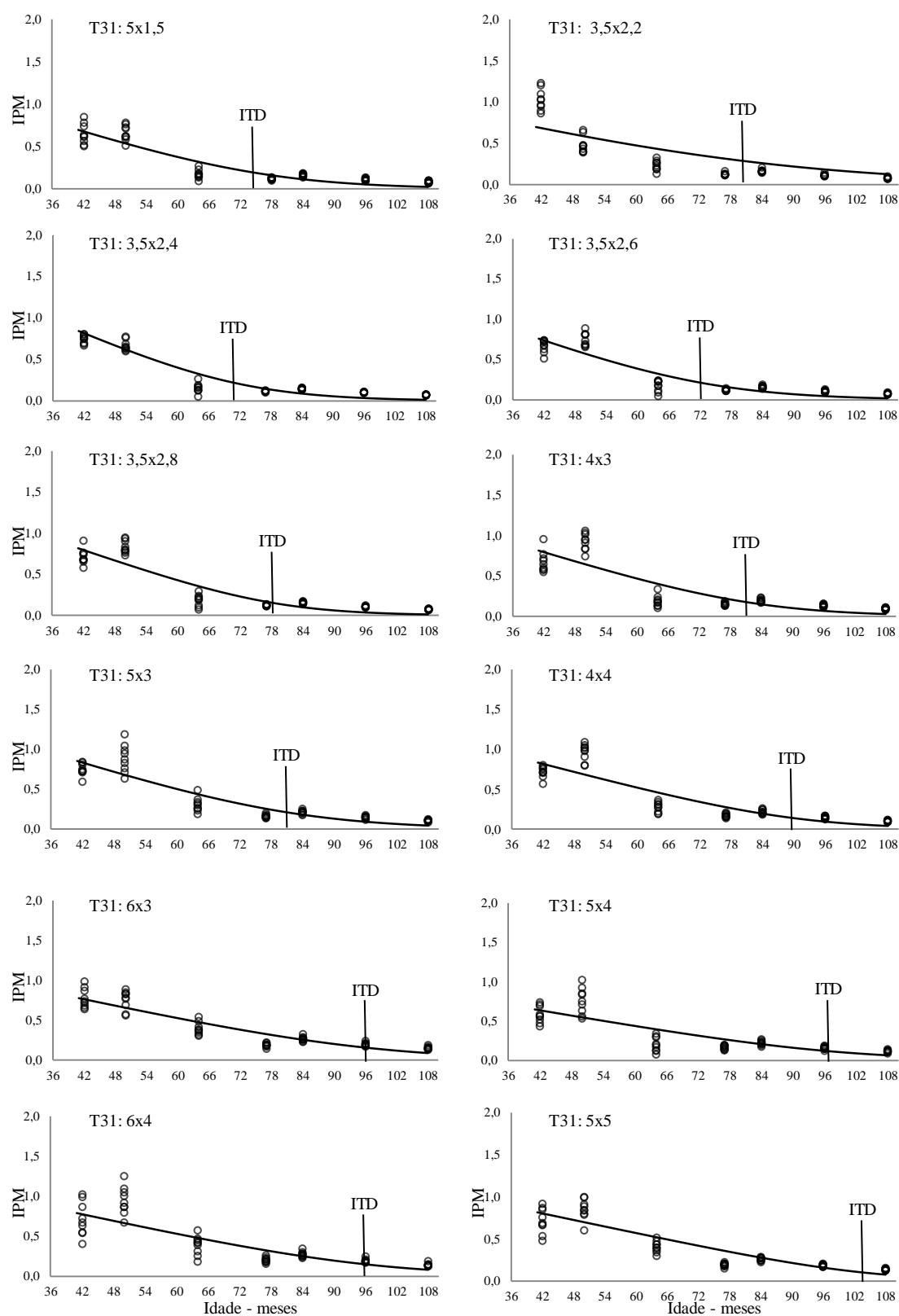


Figura 13: Idade técnica de desbaste (ITD) para *Tectona grandis*, indicada pela curva expolinear ($IPM=f(idade)$) em diferentes espaçamentos e arranjos espaciais no talhão 31 (T), sendo: IPM=ingresso percentual mensal.

4 DISCUSSÃO

4.1 Crescimento e produção

Na definição de espaçamento e arranjo espacial das árvores durante a fase de planejamento da implantação do povoamento florestal deve-se considerar as necessidades do produtor florestal, mercado e, principalmente, a ecologia e a silvicultura da espécie. A quantidade e a distribuição de árvores por área podem modificar as condições ambientais (disponibilidade de luz, água, nutrientes), demanda de mão-de-obra e afetar produtividade, as características da madeira e os custos de produção dos povoamentos florestais (BALLONI; SIMÕES, 1980; PASSOS et al., 2006; PAIVA et al., 2011; SILVA, 2011).

Apesar das significâncias do teste de identidade de modelo apontarem diferenças entre as equações ajustadas para cada tratamento, o espaçamento teve pouco efeito sobre as estimativas da altura total aos 78 meses de idade. Esse resultado corrobora com relatos de Balloni e Simões (1980) e Paiva et al. (2011) de que os espaçamentos pouco afetam o crescimento em altura. Entretanto, os autores argumentam que em espaçamentos muito adensados haverá maior número de árvores dominadas, contribuindo para redução da altura média, como o observado neste trabalho. O espaçamento (5 x 1,5 m) com área útil de 7,5 m² planta⁻¹ foi o que apresentou menor altura total média.

Rondon (2006) ao avaliar a influência de diferentes espaçamentos (3 x 2; 3 x 3; 4 x 3; 4 x 4; 5 x 3; 5 x 4 e 5 x 5 m) na altura de povoamentos de teca aos 77 meses de idade, no município de Sinop-MT, também verificou que altura total não sofreu influência. Inclusive, os resultados da altura total obtido nesse trabalho são superiores ao encontrado por Rondon (2006). Sousa (2010) verificou que altura total de teca também não foi influenciada pelos espaçamentos 3 x 2; 4 x 2; 5 x 2; 6 x 2; 3 x 2 x 2; 4 x 2 x 2; 5 x 2 x 2 e 6 x 2 x 2 m em área experimental no município de Cáceres-MT, aos 11 anos de idade.

Berger et al. (2002) ao avaliarem o crescimento de um clone de *Eucalyptus saligna*, nos espaçamentos de 3 x 2; 3 x 3 e 3 x 4 m em Barra do Ribeira-RS verificaram tendência de diminuição da altura média ao longo do tempo em espaçamentos mais adensados. Leite et al. (2006) verificaram a mesma tendência quando analisaram o efeito dos espaçamentos de 1,5 x 1; 2 x 1; 2,5 x 1; 2 x 1,5; 2 x 2; 3 x 1,5; 2,5 x 2; 3 x 2; e 3 x 3,5 m sobre o crescimento e produção de *Pinus taeda* no Planalto Central de Santa Catarina.

Ao contrário da altura média, o diâmetro quadrático médio, área basal / ha e volume com casca / ha foram influenciados pelos espaçamentos e arranjos espaciais avaliados nesse estudo. À medida que a área útil por planta aumentou, houve um maior incremento no diâmetro médio, porém, houve redução da área basal total / ha e volume com casca / ha. De acordo com Balloni e Simões (1980) e Paiva et al. (2011) árvores plantadas em espaçamentos mais amplos apresentam em determinado momento maior crescimento em diâmetro e menor produção em área basal e volume por área, em relação às aquelas em espaçamentos mais adensados. Resultados semelhantes também foram observados por Rondon (2006) e Sousa (2010) em teca, por Berger et al. (2002) em eucaliptos e por Leite et al. (2006) em pinus.

Por outro lado, o volume médio com casca por árvore foi superior nos maiores espaçamentos em relação aos mais adensados. Segundo Paiva et al. (2011), dependendo da finalidade da madeira, o mais importante é o volume total utilizável e não o volume total produzido. Com a idade as diferenças iniciais de produção vão se anulando à medida que as árvores mais espaçadas utilizam completamente os recursos disponíveis, resultando numa produtividade equivalente em todos os espaçamentos. Entretanto, espaçamentos muito abertos podem levar a subocupação do espaço de crescimento e uma produção final menor que em espaçamentos menores. Os autores enfatizam ainda que o espaçamento ótimo é aquele capaz de produzir o máximo de madeira, em tamanho, forma e qualidade, com o menor custo.

Os valores das assíntotas (parâmetros β_0 do modelo de Gompertz) (Tabelas 2 e 3) foram próximos aos valores médios projetados pelo modelo para altura total aos 96 meses de idade, o que sugere que estagnação do crescimento está próxima, independente do tratamento (LEITE et al., 2006). Esta constatação é mais evidente nas variáveis q , B e V_{cc} , que são mais influenciadas pelo espaçamento (BALLONI; SIMÕES, 1980; PAIVA et al., 2011). Nestas, verificou-se uma maior proximidade entre os valores assintóticos e os projetados pelo modelo aos 96 meses de idade nos espaçamentos mais adensados (3,5 x 2,2; 3,5 x 2,4; 3,5 x 2,6; 3,5 x 2,8 e 4 x 3 m) se comparado com espaçamentos mais amplos (5 x 3; 4 x 4; 6 x 3; 5 x 4; 6 x 4 e 5 x 5 m), o que sugere estagnação do crescimento está mais próxima nesses espaçamentos, o que era esperado (LEITE et al., 2006).

Verificou-se também que as taxas de crescimento (parâmetros β_2 do modelo de Gompertz) (Tabelas 2 e 3) foram maiores nos espaçamentos mais adensados em relação aos menos adensados. Isso se deve ao maior índice de área foliar em maiores densidades populacionais (LEITE et al., 1997). Além disso, as árvores nessas condições

aparentemente modificam a morfologia de suas folhas (Will et al., 2001) para aumentar a interceptação da luz pelas copas, aumentando dessa forma, a eficiência no aproveitamento dos recursos disponíveis (água, nutrientes, radiação), por unidade de área em menor unidade de tempo, possibilitando uma maior produção de massa, porém, atingem a capacidade de produção do local mais rapidamente (ASSMANN, 1970).

Apesar da produção total nos espaçamentos mais adensados ser maior, devido ao maior número de indivíduos, o volume individual das árvores foi menor, principalmente por apresentarem menor diâmetro, corroborando com informações de Assmann (1970), Oliveira Neto et al. (2003), Paiva et al. (2011) e Paiva e Leite (2015). Os resultados obtidos aqui evidenciam a importância do monitoramento do crescimento e produção dos povoamentos florestais, visando a aplicação de práticas silviculturais no tempo certo, a fim de evitar a estagnação do crescimento (CAMPOS; LEITE, 2013).

4.2 Determinação da idade técnica de desbaste

Os modelos de distribuição de diâmetros (MDD) ajustados para diferentes espaçamentos e arranjos espaciais podem ser utilizados para monitorar o crescimento e a produção e subsidiar decisões, como por exemplo, aplicação de desbaste. Os resultados aqui obtidos corroboram com informações de Nogueira (2003), Nogueira et al. (2005); Leite et al. (2005), Leite et al. (2006) e Nogueira et al. (2006), onde os autores comprovaram a eficiência dos MDD para análise da tendência de crescimento e produção em povoamentos submetidos a desbaste, principalmente no que se refere ao comportamento dos indivíduos antes e após a sua aplicação, definição de idade técnica e regimes de desbaste.

A distribuição diamétrica em todos os espaçamentos e arranjos espaciais, nos dois talhões, apresentou o comportamento esperado para povoamentos equiâneos, ou seja, com o passar do tempo as distribuições se achataram e deslocaram para a direita (LEITE et al., 2008).

Ao longo do tempo, nos espaçamentos mais adensados verificou-se uma redução da área nas curvas de distribuição nas idades mais avançadas, devido à redução do espaço de crescimento e início da competição entre plantas, levando a diminuição dos ingressos das árvores nas sucessivas classes de diâmetro (NOGUEIRA et al., 2006). Além disso, nesses espaçamentos verificou-se que os valores da variável gama (γ), da função Weibull, diminuía com a idade, tornando mais acentuada a assimetria das curvas de distribuição diamétrica. Isso sugere um aumento da competição entre as

árvores, o início da estagnação do crescimento e a necessidade de intervenção silvicultural, como aplicação do desbaste (NOGUEIRA, 2003).

O sistema de equações que compõem o MDD utilizado nesse trabalho também apresentou consistência biológica ao descrever o comportamento da distribuição de diâmetros nas classes diamétricas em idades sucessivas em função dos espaçamentos e arranjos espaciais. Nos espaçamentos mais adensados o ingresso nas sucessivas classes de diâmetro ao longo do tempo é menor se comparado aos menos adensados, assim como a estagnação do crescimento acontece mais precocemente. A consistência biológica de outros MDD também já foi comprovada por Araújo Júnior et al. (2013), Binoti et al. (2010, 2011, 2012), Leite et al. (2005, 2006) e Nogueira et al. (2005, 2006).

De acordo com o procedimento estatístico proposto por Leite e Oliveira (2002) na maioria dos espaçamentos e arranjos espaciais a distribuição diamétrica observada foi igual à estimada pelo modelo de distribuição de diâmetros ($p > 0,05$). Isto indica que o sistema de equações utilizado descreve de modo eficiente o comportamento e a estrutura diamétrica dos indivíduos de teca, em função dos espaçamentos e arranjos espaciais em que foram implantados.

O emprego de um modelo expolinear, relacionando o ingresso percentual mensal (IPM) e a idade (Método dos Ingressos Percentuais - MIP) conforme Garcia (1999), permite identificar o momento em que a estagnação do crescimento se inicia, sendo um indicativo da idade ótima de aplicar o desbaste. Isto tem um significado prático importante no planejamento e no plano de manejo florestal, pois, diminui a subjetividade na análise de curvas de crescimento, possibilitando ao gestor florestal tomada de decisões mais acertadas, baseadas em informações mais seguras.

Além disso, na instalação de experimentos visando pesquisas com desbaste, a área experimental e custos podem ser menores. De acordo com Nogueira et al. (2001) em experimento envolvendo idade técnica e pesos de desbaste não seriam necessários tratamentos ou simulações envolvendo a ITD. Os autores exemplificam que para um experimento envolvendo cinco idades de desbaste x cinco porcentagens de remoção de área basal, resultaria em 25 tratamentos. Pelo MIP, serão apenas cinco tratamentos (pesos de desbaste), já que a idade técnica será definida pelo MIP.

O MIP foi eficiente para determinação da idade técnica do primeiro desbaste (ITD). Em povoamentos de eucalipto e teca submetidos a desbaste Nogueira et al. (2001), Nogueira (2003) e Dias (2005) também comprovaram a eficiência do MIP na definição da idade técnica do desbaste. Os autores também constataram a eficiência do

método na definição do segundo desbaste e na simulação de cenários envolvendo diferentes regimes de desbaste, como por exemplo, idade técnica e pesos de desbaste.

Ao invés de usar o ingresso percentual (IP) para a identificação da ITD conforme idealizado por Garcia (1999), nesse trabalho utilizou-se o ingresso percentual médio mensal (IPM), conforme Nogueira (2003). Além de facilitar o ajuste do modelo, esta transformação resulta em melhor descrição das fases linear e exponencial, em uma escala mensal.

A idade técnica do primeiro desbaste nos povoamentos mais adensados foi mais precoce em relação aos menos adensados, decorrente do maior número de indivíduos e, conseqüente, competição entre plantas por fatores de crescimento (BALLONI; SIMÕES, 1980; PAIVA et al., 2011). À medida que aumenta área útil por planta, a idade técnica de desbaste é maior.

A ITD obtida no ajuste do modelo expolinear caracteriza o exato momento de mudança de fase linear para exponencial, ou seja, é nesse momento que o ingresso de indivíduos nas classes sucessivas de diâmetro não é mais significativo, portanto, início da estagnação do crescimento e momento de aplicar o desbaste (GARCIA, 1999; NOGUEIRA et al., 2001).

Não foi objeto desse estudo comparar tendências de crescimento e produção, bem como a idade técnica de desbaste entre os locais onde os experimentos foram instalados (talhão 30 e 31). Apesar disso, os resultados mostraram que no talhão 30 entre os tratamentos com mesmo espaçamento e arranjo espacial, na sua maioria, a idade técnica de desbaste foi menor em relação ao talhão 31. Isso sugere que a capacidade produtiva do primeiro seja maior que a do segundo. Conforme Assmann (1970), Leite et al. (2006), Balloni e Simões (1980) e Paiva et al. (2011) em locais de maior capacidade produtiva as árvores atingem a estagnação do crescimento mais cedo, por apresentarem maior taxa de crescimento.

5 CONCLUSÕES

O crescimento em diâmetro quadrático médio, em área basal / ha e em volume com casca / ha são influenciados pelos espaçamentos e arranjos espaciais, ao passo que a altura total sofre pouca influência.

Aos 78 meses de idade, em menores espaçamentos as árvores apresentam diâmetro quadrático médio inferior e área basal / ha e volume com casca / ha superior aos mais adensados.

A medida que a área útil por planta aumenta, o volume com casca por árvore também aumenta.

A estagnação do crescimento ocorre mais cedo nos menores espaçamentos.

A idade técnica de desbaste aumenta à medida que aumenta a área útil por planta.

O ingresso das árvores nas sucessivas classes de diâmetro diminuiu com a idade, independente do espaçamento e arranjo espacial, sendo que nos maiores espaçamentos a diminuição é menos acentuada.

A maior distância entre linhas de plantio não implica necessariamente em maior idade técnica do primeiro desbaste.

O modelo de distribuição de diâmetros (MDD) e o método dos ingressos percentuais (MIP) são eficientes para monitoramento do crescimento e produção e definição da idade técnica de desbaste (ITD) em povoamentos de teca.

Para o tipo de manejo atual, a idade técnica do primeiro desbaste no Estado de Mato Grosso varia de 6 a 8 anos nos espaçamentos e arranjos espaciais estudados.

6 AGRADECIMENTOS

A empresa Companhia Vale do Araguaia (CVA) pela cooperação, implantação, manutenção e coleta de dados experimentais. A FAPEMAT pela concessão de bolsa de estudo.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO JÚNIOR, C. A.; LEITE, H.G.; BINOTI, D. H. B.; CASTRO, R. V. O. Uso da função Weibull para descrever a área basal por classe de diâmetro de um povoamento de eucalipto. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 95, p. 401–406, 2012.

ARAÚJO JÚNIOR, C. A.; LEITE, H. G.; CASTRO, R. V. O.; BINOTI, D. H. B.; ALCÂNTARA, A. E. M.; SILVA BINOTI, M. L. M. Modelagem da distribuição diamétrica de povoamentos de eucalipto utilizando a função Gama. **Cerne**, v.19, n.2, p. 307–314, 2013.

ASSMANN, E. **The principles of forest yield study**. Oxford: Pergamon Press, 1970. 506 p.

BAILEY, R. L.; DELL, R. Quantifying diameter distributions with the Weibull function. **Forest Science**, v. 19, n. 2, p. 97–104, 1972.

BALLONI, E. A.; SIMÕES, J. W. O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais. **IPEF: Série Técnica**, v. 1, n. 3, p. 1-16, 1980.

- BERGER, R.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; HASELEIN, C. R. Efeito do espaçamento e da adubação no crescimento de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. **Ciência Florestal**, v. 12, n. 2, p. 75–87, 2002.
- BEZERRA, A. F. **Modelagem do crescimento e da produção de povoamentos de *Tectona grandis* submetidos a desbaste**. 2009. 73 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. 2009.
- BINOTI, D. H. B.; SILVA BINOTI, M. L. M.; LEITE, H. G.; SILVA, A.; SANTOS, A. C. A. Modelagem da distribuição diamétrica em povoamentos de eucalipto submetidos a desbaste utilizando autómatos celulares. **Revista Árvore**, v. 36, n. 5, p. 931–940, 2012.
- BINOTI, D. H. B.; SILVA BINOTI, M. L. M.; LEITE, H. G.; GARCIA, S. L. R.; CRUZ, J. P. Modelos de distribuição diamétrica para povoamentos desbastados de eucalipto utilizando a função hiperbólica. **Revista Árvore**, v. 35, n. 5, p. 1069–1076, 2011.
- BINOTI, D. H. B.; LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; SILVA BINOTI, M. L. M.; GARCIA, S. L. R.; CRUZ, J. P. Uso da função Weibull de três parâmetros em um modelo de distribuição diamétrica para plantios de eucalipto submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, v. 34, n. 1, p. 147–156, 2010.
- CALDEIRA, S. F.; OLIVEIRA, D. L. C. Desbaste seletivo em povoamentos de *Tectona grandis* com diferentes idades. **Acta Amazônica**, v. 38, n. 2, p. 223–228, 2008.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 4. ed. Viçosa: Editora UFV, 2013. 407 p.
- CAMPOS, J. C. C.; TURNBULL, K. J. Um sistema para estimar produção por classe de diâmetro e sua aplicação na interpretação do efeito de desbaste. **Revista Árvore**, v. 5, n. 1, p. 1–16, 1981.
- DIAS, A. N. **Um modelo para gerenciamento de plantações de eucalipto submetidas a desbaste**. 2005. 147 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. 2005.
- DELL STATSOFT. Statistica: data analysis software system. Version 13.0.
- GARCIA, M. L. **Intensidade de desbaste em um povoamento de *Tectona grandis* L.f., no município de Sinop- MT**. 2006. 44 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical)- Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá-MT. 2006.
- GARCIA, S. L. R. **Ingresso Percentil: teoria e aplicações em ciência florestal**. 1999. 20 p. (não publicado).
- GOUDRIAAN, J. Using the expolinear growth equation to analyse resource capture. In: MONTEITH, J. L.; SCOTT, R. K.; UNSWORTH, M. H. (Ed.). **Resource capture by crops**. Nottingham: Nottingham University Press, 1994. p. 99–110.
- IBÁ. **Indústria Brasileira de Árvores**. São Paulo, 2016. 96 p.
- LEITE, F. P.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; SANS, L. M. A.; FABRES, S. A. Crescimento de *Eucalyptus grandis* em diferentes densidades populacionais. **Revista Árvore**, v. 21, n. 3, p. 313–321, 1997.
- LEITE, H. G.; CAMPOS, J. C. C.; REGAZZI, A. J.; COUTO, L. Um modelo para estimar a produção de madeira para celulose e energia derivado da função Weibull. **Revista Árvore**, v. 14, n. 2, p. 102–118, 1990.

- LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; CAMPOS, J. C. C.; SOUZA, A. L.; CARVALHO, A. F. Avaliação de um modelo de distribuição diamétrica ajustado para povoamentos de *Eucalyptus* sp. submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, v. 29, n. 2, p. 271–280, 2005.
- LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; CAMPOS, J. C. C.; TAKIZAWA, F. H.; RODRIGUES, F. L. Um modelo de distribuição diamétrica para povoamentos de *Tectona grandis* submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, v. 30, n. 1, p. 89–98, 2006.
- LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; DIAS, A. N.; MONTE, M. A. Uso da mensuração florestal em pesquisa e em manejo de povoamentos submetidos a desbaste. In: SEMINÁRIO SOBRE SILVICULTURA EM FLORESTAS PLANTADAS, 3., 2008, Viçosa. **Anais...** Viçosa: SIF/DEF/UFV, 2008. p. 77-114.
- LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; MOREIRA, A. M. Efeito do espaçamento e da idade sobre variáveis de povoamentos de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**, v. 30, n. 4, p. 603–612, 2006.
- LEITE, H. G.; OLIVEIRA, F. H. Statistical procedure to test identity between analytical methods. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 33, n. 7&8, p. 1105–1118, 2002.
- LIMA, I. L.; FLORSHEIM, S. M. B.; LONGUI, E. L. Influência do espaçamento em algumas propriedades físicas da madeira de *Tectona grandis* Linn. **Cerne**, v. 15, n. 2, p. 244–250, 2009.
- MACEDO, R. L. G.; GOMES, J. E.; VENTURIN, N.; SALGADO, B. G. Desenvolvimento inicial de *Tectona grandis* L.f. (teca) em diferentes espaçamentos no município de Paracatu, MG. **Cerne**, v. 11, n. 1, p. 61–69, 2005.
- NOGUEIRA, G. S.; LEITE, H. G.; CAMPOS, J. C. C. Determinação da idade técnica de desbaste em plantações de eucalipto utilizando o método dos ingressos percentuais. **Scientia Forestalis**, n. 59, p. 51–59, 2001.
- NOGUEIRA, G. S. **Modelagem do crescimento e da produção de povoamentos de *Eucalyptus* sp. e de *Tectona grandis* submetidos a desbaste**. 2003. 145 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. 2003.
- NOGUEIRA, G. S.; LEITE, H. G.; CAMPOS, J. C. C.; CARVALHO, A. F.; SOUZA, A. L. Modelo de distribuição diamétrica para povoamentos de *Eucalyptus* sp. submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, v. 29, n. 4, p. 579–589, 2005.
- NOGUEIRA, G. S.; LEITE, H. G.; CAMPOS, J. C. C.; TAKIZAWA, F. H.; COUTO, L. 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, 2006.
- OLIVEIRA, R. P. R. P. E. **Desempenho silvicultural de *Tectona grandis* L.f., em diferentes espaçamentos, no município de Cáceres, MT**. 2008. 29 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal)-Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ. 2008.
- OLIVEIRA NETO, S. N.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; NEVES, J. C. L. Produção e distribuição de biomassa em *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. em resposta à adubação e ao espaçamento. **Revista Árvore**, v. 27, n. 1, p. 15–23, 2003.
- PAIVA, H. N.; JACOVINE, L. A. G.; TRINDADE, C.; RIBEIRO, G. T. **Cultivo de eucalipto: implantação e manejo**. 2. ed. Viçosa-MG: Aprenda Fácil, 2011. 354 p.

PAIVA, H. N.; LEITE, H. G. Desbastes e desramas em povoamentos de Eucalyptus. In: SCHUMACHER, M. V.; VIERA, M. (Ed.). **Silvicultura do eucalipto no Brasil**. Santa Maria: Editora UFSM, 2015. p. 83–112.

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. 225–232, 2006.

PIENAAR, L. V.; SHIVER, B. D. Survival functions for site prepared slash pine plantations in the flat woods of Georgia Northern Florida. **Southern Journal Forestry**, v. 5, n. 2, p. 59–62, 1981.

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

REIS, C. A. F.; PALUDZYSZYN FILHO, E. **Estado da arte de plantios com espécies florestais de interesse comercial para o Mato Grosso**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 65 p. (Documento, 215).

RONDON, E. V. Estudo de biomassa de *Tectona grandis* L.f. sob diferentes espaçamentos no Estado de Mato Grosso. **Revista Árvore**, v. 30, n. 3, p. 337–341, 2006.

SCHUMACHER, F. X.; HALL, F. D. S. Logarithmic expression of timber-tree volume. **Journal of Agricultural Research**, v. 47, n. 9, p. 719–734, 1933.

SILVA, J. C. **Eucalipto: manual prático do fazendeiro florestal - produzindo madeira com qualidade**. 3. ed. Viçosa: Arka, 2011. 106 p.

SOUSA, J. T. **Influência de diferentes espaçamentos no valor total do estoque madeireiro de um povoamento de teca (*Tectona grandis* L.f.) aos 11 anos de idade, na região de Cáceres-MT**. 2010. 76 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais)-Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ. 2010.

WILL, R. E.; BARRON, G. A.; BURKES, E. C.; SHIVER, B.; TESKEY, R. O. Relationship between intercepted radiation, net photosynthesis, respiration, and rate of stem volume growth of *Pinus taeda* and *Pinus elliottii* stands of different densities. **Forest Ecology and Management**, v. 154, p. 155–163, 2001.

WINGO, D. R. Methods for fitting the right-truncated weibull distribution to life-test and survival data. **Biometrical Journal**, v. 30, n. 5, p. 545–551, 1988.

ANEXOS

Anexo 1: Croqui da área experimental - talhão 30.

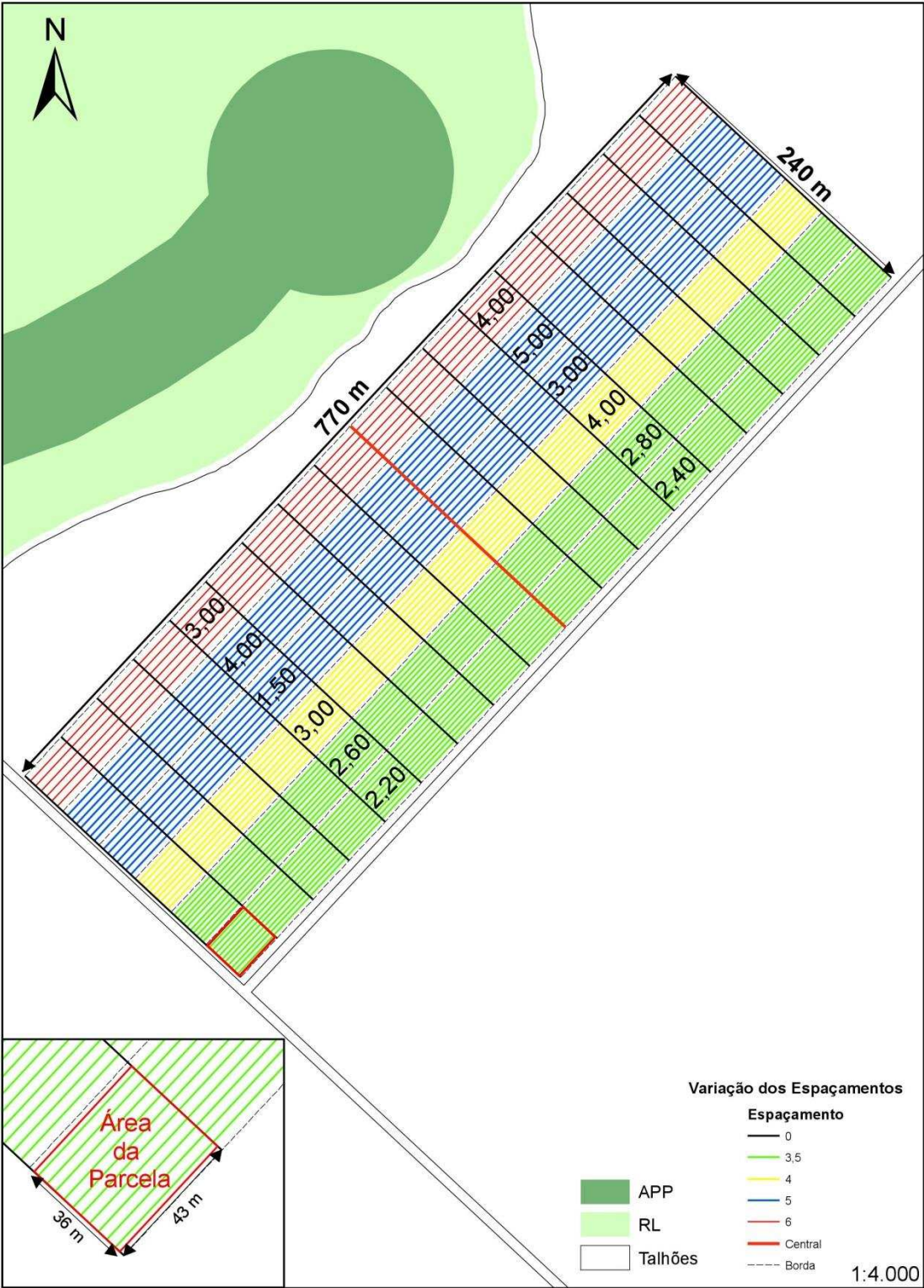
Experimento Espaçamento- Fazenda São Jorge
Talhão 031-08 (Subsolagem sem Ripper)



O tamanho da parcela apresentado como 36 m de largura pode variar entre 35 m – 36 m pois está prevista uma variação conforme os múltiplos dos espaçamentos entre linhas. Os espaçamentos 3,5 m e 5 m terão parcelas de 35 m de largura, já os espaçamentos 4 m e 6 m terão 36 m de largura.

Anexo 2: Croqui da área experimental (talhão 31).

Experimento Espaçamento- Fazenda São Jorge
Talhão 030-08 (Subsolagem com Ripper)



O tamanho da parcela apresentado como 36 m de largura pode variar entre 35 m – 36 m pois está prevista uma variação conforme os múltiplos dos espaçamentos entre linhas. Os espaçamentos 3,5 m e 5 m terão parcelas de 35 m de largura, já os espaçamentos 4 m e 6 m terão 36 m de largura.

CAPÍTULO III

PLANEJAMENTO, INSTALAÇÃO, CONDUÇÃO E AVALIAÇÃO DE EXPERIMENTOS COM TECA

RESUMO

Os crescentes níveis de produtividade de povoamentos florestais no Brasil devem-se pelos avanços científicos e tecnológicos. Contudo, a cultura da teca (*Tectona grandis* L.f.) ainda carece de informações importantes sobre sua silvicultura. O empirismo na aplicação de práticas silviculturais, escolha de locais e genótipos inadequados têm sido apontados como responsáveis pela baixa produtividade da cultura. Além disso, o monitoramento do crescimento e produção das plantações, em muitos casos, é realizado com base em observações de campo, experiências e conhecimentos do administrador florestal ou, com base em dados de inventários que não seguem os princípios básicos de um bom inventário e da experimentação. Nesse contexto, o presente documento tem como objetivo propor metodologias com diretrizes para planejamento, instalação, condução e avaliação de experimentos a campo com teca envolvendo teste de procedências, espaçamentos, preparo do solo, fertilização, controle da matocompetição, desrama e desbaste.

PLANNING, INSTALATION, CONDUCTION AND AVALIATION OF EXPERIMENTS WITH TEAK

ABSTRACT

Increasing levels of productivity of forest plantations in Brazil are due to scientific and technological advances. However, the culture of teak (*Tectona grandis* L.f.) still lacks important information on its silviculture. The empiricism in the application of silvicultural practices and the choice of inappropriate sites and genotypes have been pointed out by many farmers and researchers as factors responsible for the low crop productivity. Furthermore, monitoring the growth and yield of the plantations is, not rarely, carried out based on field observations, forest managers' experiences and knowledge or based on data that do not follow the basic principles of good inventory and experimentation. In this context, this paper aims to propose methodologies with guidelines for the planning, installation, conduction and evaluation of teak field experiments involving provenance trials, spacings soil preparation, fertilization, weed control, pruning and thinning.

1 INTRODUÇÃO

A teca (*Tectona grandis* L.f.) é uma espécie nativa da Índia, Myanmar, Tailândia e Laos e tem sido muito cultivada em Mato Grosso desde 1968, ocupando, em 2012, uma área de 67.693 ha (ABRAF, 2013). Mais do que aumentar área plantada, atualmente há uma preocupação em aumentar a produtividade das plantações, principalmente com a seleção de genótipos mais produtivos, escolha de locais apropriados, regimes ótimos de desbaste, práticas de manejo adequadas e monitoramento do crescimento e produção.

As práticas silviculturais comumente empregadas em plantações florestais, como a definição de espaçamentos, preparo do solo, controle da matocompetição, fertilização, desrama e desbaste são aplicadas com o objetivo de melhorar a qualidade da madeira, aumentar a taxa de crescimento e o valor das árvores remanescentes. Estas práticas afetam o crescimento das árvores por meio de diferentes mecanismos, inclusive interagindo entre si. A compreensão desses mecanismos é importante para definir estratégias e regimes de manejo das plantações (FORRESTER et al., 2012; FORRESTER, 2013).

No entanto, no Brasil pesquisas envolvendo essas práticas para a cultura da teca são escassas, incipientes ou realizadas de forma empírica. Produtores de teca e pesquisadores têm apontado a escolha de genótipo inadequados e o empirismo na aplicação dessas práticas silviculturais como responsáveis pelos baixos índices de produtividade da cultura no Brasil e na América Central (TONINI et al., 2009).

Apesar do Painele de Especialistas em Recursos Genéticos Florestais da FAO, na década de 60, ter atribuído prioridade para testes de procedência de teca visando a identificar genótipos superiores (FAO, 1968), os programas de melhoramento e, ou teste de procedências da teca no Brasil não foram implementados (COSTA et al., 2007; SCHUHLI; PALUDZSZYN FILHO, 2010). Isso pode ter levado a uma grande variabilidade genética entre e dentro das populações de teca, além do aproveitamento inadequado do potencial genético da espécie (COSTA; RESENDE, 2001).

Quanto às práticas silviculturais, a definição do espaçamento inicial de plantio é uma das etapas mais importantes na implantação de povoamentos florestais. Sua escolha definirá o espaço de crescimento das árvores e influenciará nas taxas de crescimento e produção, qualidade da madeira produzida, regime de desbaste e desrama, forma do tronco e copa, sobrevivência, idade de corte, custos e rendimentos operacionais nas operações de implantação, manutenção e colheita (PAIVA et al., 2011).

O preparo do solo é outra prática que interfere no crescimento e produção, sobretudo nas idades mais jovens. Gonçalves et al. (2015) comentam que pesquisas relacionadas aos métodos de preparo de solo, principalmente aquelas relacionadas à minimização do preparo, tem sido uma das grandes responsáveis pelos crescentes níveis de produtividade das plantações florestais no Brasil. De acordo com os autores, além da produtividade e qualidade dos produtos, a gestão dos recursos naturais tem recebido atenção especial no planejamento florestal, principalmente, pelo fato da preservação ambiental permear direta ou indiretamente as atividades de produção florestal, com vistas à certificação de processos e produtos florestais.

Na certificação, dentre os diversos critérios analisados, as empresas certificadoras tem dado atenção especial ao uso de produtos químicos (herbicidas) para o controle da matocompetição, que é um dos principais fatores limitantes ao crescimento e sobrevivência na fase de estabelecimento da maioria das espécies florestais (PAIVA et al., 2011). Contudo, manejo da matocompetição não é algo simples. Ferreira et al. (2010) comentam que manejo é um processo dinâmico e multidisciplinar e carece de pesquisas e que a eficiência de qualquer técnica de controle está relacionado com o grau de conhecimento da biologia das plantas infestantes empregado na definição da técnica.

A fertilização também é uma prática silvicultural importante no cultivo da teca, uma vez que a espécie é exigente quanto ao pH, teores de cálcio, fósforo, magnésio e alumínio, além de ser responsiva à adição de fertilizantes (MATRICARDI, 1989). No Brasil, diversas pesquisas têm sido publicadas envolvendo aspectos nutricionais da teca (OLIVEIRA, 2003; BEHLING, 2009; FAVARE et al., 2012; PELISSARI et al., 2012). Segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2009), depois da precipitação, a fertilidade do solo é o principal critério para escolha de sites apropriados ao plantio da teca, principalmente, com ênfase em solos ácidos e com níveis baixos de cálcio e magnésio. No entanto, pesquisas envolvendo respostas a adição de corretivos e fertilizantes a campo, de acordo com a demanda da cultura e características locais são incipientes.

Quanto ao regime de desbaste para a teca, muitas vezes tem sido decidido de modo empírico ou com resultados de experimentos analisados empregando testes de médias, sem uma efetiva e consistente modelagem do crescimento e da produção. Apesar de pesquisas já publicadas sobre o assunto (NOGUEIRA, 2003; LEITE et al., 2006; CALDEIRA; OLIVEIRA, 2008; BEZERRA, 2009) observa-se que poucas empresas e/ou produtores florestais se utilizam de informações científicas para tomada

de decisões sobre quando e quanto desbastar. Mais do que isso, de acordo com alguns produtores de teca no Estado de Mato Grosso essa questão tem sido mais influenciada por fatores econômicos do que silviculturais.

A exemplo do que acontece com o desbaste, a desrama também tem sido realizada com base em avaliações visuais e subjetivas, sem critério técnico-científico e econômico, como volume livre de nós, forma de tronco, custos de desrama, época, grau, aspectos tecnológicos (PÉREZ, 2005).

Somado a isso, nota-se também que o monitoramento do crescimento e produção das plantações de teca, em muitos casos, é realizado com base em observações de campo, experiências e conhecimentos do administrador florestal ou, com base em dados de inventários que não seguem os seus princípios básicos. Informações qualitativas e quantitativas provenientes de experimentos planejados, analisados por meio de métodos estatísticos adequados, permitem gerar estimativas confiáveis acerca da produção atual e futura, subsidiar decisões quanto à escolha de genótipo, aplicação de práticas silviculturais, prever corte final e previsão de receitas.

Um experimento bem planejado é aquele que permite obter resultados confiáveis, que satisfaça o nível científico desejado e os princípios da experimentação, que seja simples e que atenda aos interesses do pesquisador ou administrador florestal. A definição do problema e da hipótese básica são etapas fundamentais para o sucesso de um experimento. No entanto, para que as hipóteses sejam testadas e que se possa inferir sobre os resultados é necessária aplicação do método estatístico, de modo a evitar que o efeito de fatores não controlados mascare o efeito do tratamento em estudo (GARCIA; LEITE, 2006; BANZATTO; KRONKA, 2008).

Diante do exposto, o presente documento tem como objetivo propor metodologias com diretrizes para auxiliar o engenheiro florestal no planejamento, instalação, condução e avaliação de experimentos a campo com teca, envolvendo teste de procedências, espaçamentos, controle da matocompetição, preparo do solo, fertilização, desrama e desbaste.

2 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

No planejamento experimental o primeiro passo é certificar-se que o problema que se pretende pesquisar já foi pesquisado e, havendo pesquisas realizadas averiguar se os resultados se aplicam ao local em que se pretende implantar o experimento.

Ao planejar um experimento é importante considerar a aplicação prática dos resultados, bem como os benefícios econômicos, sociais, ambientais e tecnológicos potenciais. Além disso, é importante verificar se resultados de estudos semelhantes já foram publicados na literatura.

No planejamento são elencados os custos, os materiais e o tempo necessário para realização da pesquisa, as fontes de recursos disponíveis para custeio das despesas, a disponibilidade de áreas para implantação do experimento e recursos humanos que estarão envolvidos no projeto.

No meio científico é comum firmar parcerias ou implantar programas de cooperação. Neste caso é comum celebrar um termo de cooperação técnica entre as partes envolvidas, apontando responsáveis técnicos, período de vigência e renovação, direitos e deveres das partes, formas de publicidade dos resultados, foro para possíveis causas judiciais, entre outros.

A seguir são apresentados alguns procedimentos que podem ser adotadas pelo pesquisador no planejamento de experimentos, conforme Curtis e Marshall (2005), Banzatto e Kronka (2008), Garcia e Leite (2006), Campos e Leite (2013) e Silva (2013).

2.1 Tipo de experimento

Basicamente há dois tipos de experimentos:

Experimentos de pesquisa aplicada: o objetivo é fornecer dados para apoiar conhecimentos existentes e desenvolver novos procedimentos. Requerem delineamento experimental.

Experimentos demonstrativos: o objetivo é demonstrar como um procedimento ou produto funciona em uma condição específica. Não requerem delineamento experimental

2.2 Levantamento e definição de problemas de pesquisa

Muitas vezes o pesquisador é capaz de identificar problemas e propor soluções científicas, entretanto, essa atividade poderá ser facilitada com a participação de produtores, responsáveis técnicos, colaboradores, gerentes, engenheiros, técnicos entre outros envolvidos no processo produtivo.

A participação coletiva não é simples, já que ambos têm conhecimentos e experiências diferentes. Porém, poderá ser vantajosa uma vez que aumenta a eficiência da pesquisa e seus resultados podem gerar benefícios a todos.

A participação poderá ser:

Contratual: o pesquisador formaliza um contrato com o produtor florestal ou empresa para obtenção de áreas ou serviços para realização de experimentos;

Consultiva: os produtores e demais agentes envolvidos no processo produtivo são consultados sobre os problemas encontrados e procuram desenvolver soluções;

Acadêmica: o pesquisador fortalece a pesquisa informal, de modo a disponibilizar uma informação científica ou tecnológica ao produtor e lhe permite fazer sua seleção;

Colaborativa: pesquisa participativa com envolvimento de todos os agentes.

2.3 Objetivos, hipóteses e revisão de literatura

Os objetivos são definidos em consequência de hipóteses estabelecidas. Portanto, deve-se ter cuidado no estabelecimento destas, de forma que ao final da pesquisa seus objetivos possam ser alcançados. Não se recomenda introduzir novas fontes de variação ou objetivos não planejados inicialmente, pois, poderá haver interferências nos resultados.

As hipóteses são as possíveis causas ou variáveis determinantes de um problema. Sua definição é baseada no problema já identificado e em teorias científicas conhecidas pelo pesquisador. A revisão de literatura permite ao pesquisador perceber melhor as dificuldades do problema, verificar o estágio do seu equacionamento, utilizar-se de resultados já obtidos.

2.4 Local de instalação do experimento

É imprescindível que se conheça a classificação física e a composição química do solo, topografia, altitude, dados climáticos, informações de plantios anteriores, área disponível para instalação do experimento, tempo provável de experimentação, tipo de genótipo, entre outros. A maioria dos erros experimentais são decorrentes da falta de uniformidade das condições experimentais e variação inerente ao material experimental.

2.5 Tratamentos

A escolha dos tratamentos depende dos objetivos da pesquisa. Na sua definição os seguintes aspectos são relevantes:

Quantidade de material disponível: não poderá faltar material no ato da instalação;

Área disponível: verificar se a área disponível atende ao planejamento do experimento, o uso de bordaduras, necessidade de colheita de parte da amostra para pesquisas e duração da rotação;

Orçamento: o número de tratamentos refletirá nos custos de implantação, manutenção e coleta dos dados;

Natureza dos tratamentos (qualitativos ou quantitativos): a natureza dos tratamentos tem relação direta com a escolha do método estatístico de análise dos dados. Número elevado de tratamentos causa perda de precisão nos testes de comparações múltiplas (ou testes de médias). Por outro lado, recomenda-se pelo menos quatro níveis de fatores quantitativos (níveis, doses, pesos) para que a análise de regressão seja utilizada. Entretanto, quando se deseja saber apenas o efeito de um fator o número de tratamentos poderá ser menor como, por exemplo, efeito da desrama no crescimento das árvores. Não se recomenda também a adoção de tratamentos quantitativos muito espaçados entre si (ex: 0, 25, 1.000 e 10.000 mg dm⁻³), isso pode levar a inconsistências na análise de regressão pela ocorrência de observações influentes.

2.6 Delineamento experimental

Em experimentos a campo recomenda-se o delineamento experimental em blocos casualizados (DBC). Nesse caso, há maior controle das diferenças que ocorrem nas condições ambientais (controle local) e a variação ambiental pode ser isolada, tornando mais exata a estimativa do erro experimental. Contudo, apresenta desvantagem por diminuir o número de graus de liberdade do resíduo e limitar o número de tratamentos, já que há necessidade de homogeneidade dentro dos blocos. Muitas vezes o prejuízo devido a redução dos graus de liberdade para resíduos é compensado pela redução da variância residual com o princípio do controle local, uma vez que o efeito é considerado no modelo. Além do DBC, ainda existe delineamento inteiramente casualizado (DIC) e delineamento experimental quadrado latino (DQL).

A disposição dos tratamentos nos delineamentos, como por exemplo, esquema de parcelas subdivididas (split plot), esquema em parcelas sub-subdivididas (Split split plot), experimento em faixas (strip plot ou split-block) e a quantidade de fatores em análise influenciam na análise estatística dos dados.

2.7 Tamanho e forma das parcelas

O tamanho e forma ótimos para parcela são aqueles que resultem na menor variação entre parcelas dentro do bloco, de forma a minimizar o erro experimental. Na definição do tamanho das parcelas é importante otimizar os recursos disponíveis, sem comprometer os princípios estatísticos. Para tanto, devem ser considerados os seguintes aspectos (BANZATTO; KRONKA, 2008; CAMPOS; LEITE, 2013):

Área disponível para instalação do experimento: no planejamento é importante verificar se há área disponível e sua localização para implantação do experimento, bem como se esta comporta o experimento. Se a área disponível não comporta todas as parcelas como inicialmente planejado e não havendo outra disponível, o tamanho das parcelas deve ser reduzido de modo a comportá-las, desde que não influencie os princípios estatísticos.

Bordadura: a necessidade de indivíduos nos limites de parcelas, tratamentos, blocos ou experimentos implicará em parcelas de maior tamanho.

Custo de mão de obra: parcelas maiores implicam em maiores custos de implantação, manutenção e coleta de dados. Verificar se os recursos disponíveis são suficientes para custear despesas inerentes a essas atividades, além de questões trabalhistas.

Disponibilidade de insumos: parcelas maiores requerem maiores quantidades de insumos, tais como mudas, fertilizantes, corretivos, herbicidas, inseticidas, entre outros. É preciso analisar se há disponibilidade, bem como possibilidade e recursos financeiros para sua aquisição.

Espaçamento inicial de plantio: espaçamentos maiores requerem parcelas maiores, a fim de comportar número de indivíduos suficientes para coleta de dados ao longo do tempo.

Fatores fisiográficos: fatores como a inclinação do terreno, topografia, altitude, processos de sedimentação, erosão e exposição influenciam o crescimento e produção das plantações florestais, portanto devem ser considerados no planejamento experimental.

Forma da parcela: a parcela pode ser retangular, quadrada, circular, em linhas e planta única. Sua escolha dependerá dos objetivos e do tipo de experimento.

Número de tratamentos a serem testados: um experimento com muitos tratamentos implicará em área experimental maior para comportar o número de parcelas. Dependendo do tipo de experimento e disposição das parcelas, como, por exemplo, parcelas subdivididas, necessariamente terão maior tamanho para comportar os tratamentos.

Objetivo e finalidade do estudo: dependendo do objetivo do estudo, serão necessárias parcelas maiores, por exemplo, pesquisas com fertilização e efeito de desbastes requerem parcelas de maiores dimensões para evitar efeito de parcelas vizinhas e número de indivíduos suficientes para análise ao final do experimento, respectivamente.

Quantidade de material disponível: havendo limitação nos recursos necessários à implantação e condução de experimento, como por exemplo, mudas, insumos, recursos financeiros e humanos, poderá diminuir o tamanho da parcela.

Rotação: espécies que apresentam maior rotação, como a teca, requerem aplicação de práticas silviculturais frequentes e, portanto, necessitará de parcelas maiores para comportar um número de indivíduos suficiente para coleta e análise dos dados após a aplicação dessas práticas.

Tipo de manejo: quando houver necessidade de aplicação de práticas silviculturais como, desbastes, desramas e fertilização as parcelas terão que ser maiores, para que seja possível representar os tratamentos aplicados ao longo do tempo.

Unidade de amostra destrutiva: quando há necessidade de coletar amostras por métodos destrutivos, haverá necessidade de maior número de indivíduos na parcela, implicando em parcela de maior tamanho, como, por exemplo, a determinação da massa seca de raízes de plantas.

2.8 Bordadura

Para evitar a influência de parcelas vizinhas sobre uma determinada parcela, muitos experimentos devem ter uma bordadura entre parcelas experimentais. Dessa forma tem-se a área total e a área útil da parcela e, os dados a serem utilizados nas análises serão apenas coletados na área útil da parcela.

A intensidade e a abrangência do efeito da bordadura dependem do genótipo, fatores ambientais e espaçamento inicial de plantio.

2.9 Repetição

O número de repetições depende da área disponível, da quantidade e qualidade de material experimental, dos custos de instalação e de manutenção e do número de tratamentos.

Um número reduzido de repetições compromete a casualização e o número de graus de liberdade do resíduo. Recomenda-se no mínimo 10 graus de liberdade para resíduo para não comprometer as estimativas do erro experimental (BANZATTO; KRONKA, 2008).

Uma forma de aumentar a precisão de experimentos em blocos casualizados é aumentar o número de graus de liberdade do resíduo. Para tanto, o aumento do número de repetições dentro do bloco é recomendado. Por exemplo, seja um experimento com

três blocos ao acaso e três tratamentos, desse modo o quadro da análise de variância seria da seguinte forma:

Fonte de variação	Graus de liberdade
Blocos	2
Tratamentos	2
Resíduo	4
Total	8

→ Um pequeno número de graus de liberdade para o resíduo.

Se dentro de cada bloco existir duas repetições, o quadro da análise de variância seria da seguinte forma:

Fonte de variação	Graus de liberdade
Blocos	2
Tratamentos	2
Resíduo	13
Total	17

→ Um maior número de graus de liberdade para o resíduo.

Outro aspecto relevante é que não se pode confundir repetição com determinações, leituras ou réplicas. Por exemplo: se o pH do solo é medido três vezes em uma mesma amostra, os três valores obtidos constituem três determinações e nunca, três repetições.

2.10 Croqui

Definidos os tratamentos e o número de repetições torna-se necessário fazer um croqui do experimento para orientar sua instalação, manejo e coleta de dados. Deve-se considerar nessa fase a casualização e o controle local (no caso de DBC) para evitar que um ou outro tratamento seja favorecido ou prejudicado pelas condições do local. Além disso, deve conter informações como orientação geográfica, distâncias, identificação de parcelas, blocos, tratamentos, bordadura e legenda.

2.11 Acesso e marcação da parcela

Para facilitar a localização, identificação e coleta de dados alguns procedimentos básicos podem ser seguidos, embora não seja regra. A confecção de mapas e croquis é imprescindível.

Especificamente em unidades experimentais, a indicação de tratamentos e repetições pode ser por plaquetas de alumínio, estacas, marcação nas árvores limites ou

em uma árvore referência, podendo ser aquela localizada nos vértices ou no centro da parcela.

Em povoamentos florestais consolidados o acesso poderá ser indicado na margem do talhão, com marcação de uma ou mais árvores sequenciais, que indicarão o caminho até a parcela. Sugere-se que seja perpendicular ao aceiro ou estrada.

Também é importante garantir que a identidade e a posição de cada árvore não sejam perdidas ao longo do tempo. Recomenda-se a marcação e a sequência de medição das árvores nas parcelas, com tinta e, ou, plaquetas no tronco, podendo ainda conter o número de cada árvore, a fim de evitar erros. A sequência de caminhamento para medição pode ser definida marcando as duas primeiras árvores com um anel de tinta branca a 1,3 m de altura. Também se pode numerar todas as árvores da parcela, respeitando falhas e árvores mortas. Isso simplifica o trabalho de coleta de dados e diminui erros nas medições.

Em parcelas circulares, principalmente aquelas de grandes dimensões, recomenda-se marcar todas as árvores da parcela ou, pelo menos as árvores iniciais e finais de cada fileira.

Os limites de parcela com formato retangular e quadrada devem ser demarcados no meio das entrelinhas de plantio.

Com o avanço da tecnologia espacial, recursos computacionais e conhecimento sobre sistemas de informações geográficas e sensoriamento remoto, já é possível, o monitoramento e controle preciso das árvores que compõem as parcelas, bem como sua localização.

2.12 Medição e características mensuradas

A medição das parcelas deve ser anual, a partir do segundo ano, sendo mensuradas variáveis quantitativas e qualitativas. Em certos casos, dependendo do objetivo, as medições iniciais podem ser mensais, bimestrais, trimestrais ou semestrais.

Quantitativas:

Altura total (ht): quando possível mede-se todos os indivíduos. É comum medir apenas algumas árvores da parcela (geralmente 10 a 15 primeiras árvores de cada parcela) e também a altura das árvores dominantes (utilizando a regra: 100 árvores normais de maior dap para cada hectare). Neste caso, a altura das demais árvores pode ser obtida por regressão (modelos hipsométricos) ou inteligência artificial (redes neurais artificiais).

Modelos hipsométricos descrevem a relação entre a altura e o diâmetro das árvores. Essa relação pode estimar a altura das árvores de um povoamento florestal medindo apenas a variável diâmetro na altura de 1,30 m (dap), implicando na redução de custos de coletas de dados. Entretanto, o uso desse tipo de modelo pode diminuir a precisão das estimativas da altura, uma vez que depende também da capacidade produtiva do lugar. Assim, os modelos hipsométricos que usam apenas o dap como variável independente devem ser utilizados apenas nas parcelas e em áreas pequenas e homogêneas.

Estimativas mais precisas da altura total podem ser obtidas com a inclusão de variáveis do povoamento, como, altura dominante (Hd), índice de local (S) e idade (I) como variáveis independentes nos modelos hipsométricos (SOARES et al., 2012; CAMPOS; LEITE, 2013), por exemplo, o modelo hipsométrico $Lnht = \beta_0 + \beta_1 dap^{-1} + \beta_2 LnHd + \varepsilon$.

Uma alternativa mais eficiente, que resulta em maior exatidão e de menor custo em relação a regressão é o emprego de redes neurais artificiais (RNA). Suas principais vantagens são a capacidade de aprendizado e generalização; tolerância a ruídos nos dados; superioridade em relação às estimativas de modelos de regressão; capacidade de modelar diversas variáveis e suas relações não-linear; possibilidade de considerar variáveis categóricas na modelagem (HAYKIN, 2001; BRAGA et al., 2007). Além disso, há softwares livres, como o NeuroForest (<http://neuroforest.ucoz.com>). A RNA é eficiente para estimação de altura de árvores, com vantagens sobre a regressão (SILVA BINOTI, 2012), além de reduzir o número de medições sem perda de precisão, reduzindo custos de coleta de dados (BINOTI et al., 2013) ou da experimentação.

Diâmetro (dap): o diâmetro a 1,3 m de altura é medido em todas as árvores da parcela. Além da média desses diâmetros, o diâmetro máximo e mínimo também têm sido utilizados na modelagem do crescimento e produção. É necessário o uso de equipamentos e técnicas adequadas a fim de minimizar o erro de não amostragem e aumentar a exatidão das estimativas. Recomenda-se marcar o local exato na árvore para medição do diâmetro, para diminuir os erros de não amostragem. Atualmente existe no mercado equipamentos para medição de diâmetros, como sutas eletrônicas digitais e fita métrica fixa ao tronco. Esta última é útil para medição do crescimento radial mensal, por exemplo.

De posse dos dados da altura total e diâmetro, calcula-se o volume de cada árvore e demais características quantitativas de interesse, como, o diâmetro médio, a área basal e o volume por parcela ou por hectare.

O modelo de Schumacher e Hall (1933) ($V = \beta_0 dap^{\beta_1} Ht^{\beta_2} + \varepsilon$) tem sido muito utilizado na estimativa do volume de povoamentos florestais.

Qualitativas:

Dependendo dos objetivos da pesquisa sua mensuração é recomendada, como por exemplo, quantificar as falhas de plantio e brotação, sobrevivência ou mortalidade, árvores quebradas, bifurcadas ou com algum tipo de defeito e aspectos sanitários. As informações deverão ser apresentadas de modo não haver dúvida em termos relativos, ou seja, a porcentagem de uma determinada variável deve ser expressa em relação ao total de observações daquela variável na parcela, conforme Campos e Leite (2013).

Atentar às terminologias, por exemplo, cova (local onde a muda foi plantada), cepa (toco remanescente após o corte da árvore, que pode conter um ou mais fustes). Dessa forma, na parcela, a cova sempre será a mesma e a árvore e fuste podem ou não desaparecer.

Em alguns experimentos, as características mensuradas (medidas ou estimadas) podem servir como base de cálculo para outras características denominadas calculadas. O conteúdo de fósforo e o coeficiente de utilização biológica (CUB) podem ser calculados a partir do teor de fósforo e massa dos componentes da planta. A área basal e o diâmetro médio também são exemplos.

Dependendo do tipo de variável mensurada poderá haver necessidade de transformações matemáticas (angular, raiz quadrada, logarítmica) antes da aplicação dos métodos estatísticos, que será visto mais adiante.

Ressalta-se que em um experimento podem ser avaliadas variáveis qualitativas e quantitativas, como por exemplo, tipo de genótipo e doses de fertilizante, espaçamento de plantio e pesos de desbaste. Variáveis qualitativas podem estar presentes nos modelos de regressão como variáveis binárias (dummy) ou como efeito aleatório, no caso de modelos de efeito misto.

Atentar ao fato que existem tratamentos que podem causar dupla interpretação quanto a sua natureza. Por exemplo: se um experimento tem como tratamentos os espaçamentos 3 x 2 m, 3 x 3 m, 4 x 4 m poderão ser considerados qualitativos, cujos resultados poderão ser avaliados por comparações múltiplas ou teste de médias ou de significância. Entretanto, se for considerada a área útil por planta 6, 9 e 16 m², podem ser considerados quantitativos e os resultados analisados por regressão.

2.13 Capacitação da equipe envolvida

No planejamento da pesquisa a capacitação da equipe envolvida é importante. Sugere-se a confecção de um manual de campo e de escritório para garantir a uniformidade de procedimentos entre equipes, minimizar possíveis erros e aumentar a precisão das informações coletadas. Esse procedimento resultará em uma coleta de dados mais eficiente e com menos inconsistência nos dados (HUSCH, 1971). Além disso, é importante garantir a identificação da identidade de cada árvore até o final do período de medição do experimento.

Este manual deverá conter informações, como:

- Coordenadas geográficas da área experimental;
- Procedimentos para alocação de parcelas;
- Características a serem medidas ou avaliadas em cada árvore e parcela;
- Ordem de caminhar durante a medição;
- Quantidade de árvores a serem medidas;
- Critérios para identificação e quantidade de árvores dominantes a serem medidas;
- Área e dimensões de parcelas;
- Número de componentes das equipes e funções de cada um;
- Relação de equipamentos ou instrumentos de medição;
- Dispositivos para registros das informações (fichas de campo, coletores de dados, etc.);
- Mapas e croquis.

É recomendável a presença de um profissional (pesquisador) com formação e experiência em pesquisa e conhecimento das atividades em estudo.

2.14 Condução e manutenção do experimento

A condução e a manutenção do experimento são definidas no planejamento e seguidas com rigor, como por exemplo, adubações, tratos culturais, capinas, desramas, aplicações de herbicidas, tempo de execução do experimento e orçamento.

2.15 Registro das atividades

Recomenda-se o registro das atividades em todas as fases do experimento (fotografias tiradas de um ponto fixo mostrando o desenvolvimento do povoamento ao longo do tempo), tanto no sentido vertical, como no horizontal. Estas imagens são úteis

na apresentação oral dos resultados e ilustração de publicações. Além disso, podem ser utilizadas em povoamentos submetidos a desbaste e desrama na estimativa de cobertura e dinâmica de dossel e índice de área foliar (CHAVES et al., 2007; MONTE et al., 2007; CANTINHO et al., 2014), inventário florestal (MELLO et al., 2009) e monitoramento do crescimento e produção (DIAS, 2005; LEAL et al., 2015).

2.16 Interação entre os fatores em estudo

Práticas silviculturais como, espaçamento, preparo do solo, matocompetição, desbaste, desrama e fertilização afetam a disponibilidade de luz e água, interceptação e uso eficiente da luz e partição de massa, influenciando o crescimento através de diferentes mecanismos, podendo ocorrer interações entre os fatores.

Além de analisar o efeito dessas práticas isoladamente, o pesquisador deverá avaliar também as interações entre estas práticas, relacionando-as com as características tecnológicas e qualidade da madeira produzida.

3 PROJETO DE PESQUISA

O objetivo de um projeto de pesquisa é buscar soluções de problemas através do método científico. Como documento administrativo é necessário ao planejamento de despesas, formação e alocação de recursos humanos e instalação de infraestrutura física de pesquisas. Como documento científico, permite ao pesquisador demonstrar sua capacidade de identificar, analisar e definir problemas de pesquisa, definir hipótese com bases em teoria científica, explicar possíveis causas do problema, delinear procedimentos experimentais, submeter os dados aos procedimentos estatísticos específicos, concluir sobre os resultados e propor alternativas e, ou, soluções (SILVA, 2013).

3.1 Finalidade

Basicamente o projeto de pesquisa pode possuir três finalidades:

- a) Servir de documento para buscar apoio financeiro, visando sua execução;
- b) Orientar a equipe na execução das atividades e utilização dos recursos;
- c) Fins administrativos visando a programação de pesquisas, alocação de recursos, planejamento estratégico, aquisição de materiais, equipamentos, insumos e contratação de mão de obra.

3.2 Estrutura do projeto de pesquisa

De acordo com Silva (2013) um projeto de pesquisa deverá apresentar uma estrutura lógica, contendo as seguintes informações: identificação, título, equipe de pesquisadores, justificativas, objetivos, hipóteses, revisão de literatura, material e métodos, cronograma de execução, orçamento, cronograma de desembolso, literatura citada, apêndices e anexos.

3.2.1 Identificação

É a apresentação do projeto de pesquisa. São necessárias informações sobre a instituição ou empresa proponentes do projeto, título, responsáveis, local e data. É a capa do projeto, a primeira folha ou página, portanto, deve ter uma boa apresentação e causar impressão positiva.

3.2.2 Título

O título é uma espécie de resumo do projeto. Deve ser curto, claro e objetivo, de maneira a indicar o que se pretende investigar. Em algumas situações, um projeto de pesquisa contempla vários subprojetos, neste caso, admite-se um título mais geral e abrangente, porém, os títulos dos subprojetos serão mais específicos.

3.2.3 Equipe de pesquisadores e colaboradores

São pessoas que irão desenvolver atividades de pesquisa, podendo ser coordenadores, executores e colaboradores. Portanto, são necessários o nome, formação profissional e titulação, além da afiliação institucional e contato (endereço, número de telefone e e-mail). Dependendo do problema, complexidade, interações e objetivos do projeto, atualmente, tem-se dado ênfase a equipes com especialistas de diversas áreas do conhecimento.

3.2.4 Resumo

É local onde o leitor encontra informações gerais a respeito do projeto de pesquisa, com uma redação lógica, explicativa e sucinta com informações sobre o problema, objetivos e a metodologia do projeto. Geralmente é limitado a 250 palavras.

3.2.5 Justificativa

É importante elucidar os motivos e a importância da pesquisa a que se refere o projeto. Possui uma relação direta com o problema que levou a concepção do projeto de

pesquisa. É quando o pesquisador vai relatar porque o problema a ser estudado é importante, quais os fatores econômicos, sociais e ambientais determinado por ele, como afeta o produto final, o recurso ou o produtor, quais os benefícios que os resultados trarão com a solução do problema para a ciência, para a produção florestal e para a sociedade e quais questões já respondidas por outros pesquisadores, mas, que ainda não foram bem compreendidas ou necessitam de estudos mais detalhados sobre o problema em questão.

3.2.6 Objetivos e metas

É a definição clara do que se pretende fazer e as metas que se pretende atingir com o projeto de pesquisa. Essa definição norteará todo o procedimento metodológico a ser seguido. Os objetivos devem ser claros e as metas bem definidas.

Geralmente são apresentados objetivos gerais e específicos. O primeiro relaciona-se de forma mais abrangente aos resultados esperados, para os quais o projeto pretende contribuir. Já o segundo define exatamente o que se espera atingir até o final do trabalho.

3.2.7 Hipóteses

São as possíveis causas ou variáveis determinantes de um problema ou, são afirmativas a serem testadas pelo procedimento experimental. Portanto, seu teste em nível de experimento deve ser possível e todo o procedimento experimental deve ser adequado a fim de obter as informações necessárias à comprovação ou rejeição da hipótese. Sua definição é baseada no problema já identificado em teorias científicas conhecidas pelo pesquisador.

A(s) hipótese(s) deverá ser formulada(s) de forma afirmativa. Por exemplo, Mato Grosso é o Estado brasileiro que apresenta a maior área plantada de teca no Brasil. Apesar disso, a produtividade da cultura não tem atingido os índices esperados pelos produtores no Estado (problema). O objetivo de um possível projeto de pesquisa seria identificar fatores que estão interferindo na produtividade da cultura, como, por exemplo, escolha de locais. Neste caso as hipóteses estatísticas são:

H_0 = a escolha de locais não interfere na variação e na produtividade da cultura da teca no Estado de Mato Grosso.

H_a : não H_0 .

3.2.8 Revisão de literatura

A revisão de literatura é uma das fases mais importantes, haja vista, que ela permite ao pesquisador perceber melhor as dificuldades do problema, verificar o estágio do seu equacionamento e beneficiar-se dos resultados já obtidos, já que é comum em publicações, sobretudo científicas, pesquisadores emitirem opiniões, sugestões e lacunas de pesquisas sobre o problema estudado. Além disso, a revisão de literatura possibilita ao pesquisador verificar se o problema a ser investigado já foi objeto de estudo de outros pesquisadores e se seus resultados se aplicam à sua realidade ou não.

3.2.9 Material e métodos

São os procedimentos a serem seguidos na implantação e condução do experimento e na coleta e análise dos dados a fim de atingir os objetivos propostos. Sua redação deverá ser lógica, clara e objetiva, de modo que, sua replicação seja possível.

O que será citado depende em muito da natureza do trabalho de pesquisa. Se uma metodologia já foi publicada não há necessidade de descrevê-la novamente, basta apenas citar a referência. Em geral, são mencionados os seguintes itens:

- a) Localização da área experimental: propriedade, empresa, município, coordenadas geográficas (latitude, longitude e altitude);
- b) Dados do povoamento: projeto, talhão, genótipo, data de plantio, espaçamento, adubação;
- c) Fatores fisiográficos: classe de solo, análise de solo, clima, relevo, vegetação anterior, histórico de uso e ocupação;
- d) Descrição do experimento: número de tratamentos, número de repetições, número de parcelas, plantas por parcela, plantas úteis por parcela, área total da parcela, área útil da parcela, área do experimento, descrição dos tratamentos, e tipo de delineamento experimental;
- e) Mensurações: variáveis a serem coletadas, método de coleta, equipamentos, época de coleta;
- f) Manejo do experimento: tratamentos silviculturais, controle e prevenção de pragas, doenças e incêndios;
- g) Croqui de localização do experimento;
- h) Métodos estatísticos a serem empregados para análise dos dados;
- i) Nível de significância.

3.2.10 Resultados esperados

É a forma concreta em que se espera alcançar os objetivos específicos, sejam eles, resultados científicos, produtos, patentes, avanços tecnológicos, etc. Devem ser mensuráveis, passíveis de demonstração e reproduzíveis. Devem ser identificados os indicadores (quantitativos ou qualitativos) que se utilizarão para esta medição e o prazo que estes ocorrerão (curto, médio e longo prazo) e sua abrangência (institucional, estadual, nacional), assim como em nível de área de conhecimento.

Se o objetivo final é atender ao mercado, recomenda-se fazer uma análise da relação custo-benefício, com base em estudos de viabilidade, na fase de preparação do projeto.

3.2.11 Cronograma de execução ou plano de atividades

É uma tabela ou figura onde constam as etapas a serem cumpridas, as metas a serem atingidas, os prazos ou períodos para execução e os responsáveis pelas atividades e metas. Além de possibilitar um exame fácil e rápido dos períodos de execução dos trabalhos, é utilizado para elaboração do plano de aplicação de recursos.

3.2.12 Orçamento

Geralmente são tabelas contendo informações sobre a descrição do bem ou serviço, a quantidade, a unidade e o preço unitário e total. Deve ser preparado de forma criteriosa e realista, com base nas necessidades do projeto e no custo de suas atividades. Em muitos casos é o principal fator analisado na aprovação ou não de um projeto de pesquisa.

3.2.13 Cronograma de desembolso

É um demonstrativo da previsão de utilização dos recursos conforme o tempo de execução do projeto e suas necessidades, indicando época de liberação e aplicação dos recursos.

3.2.14 Outras informações

Em casos mais específicos, por exemplo, quando se submete o projeto a uma fonte financiadora, geralmente, são solicitadas informações, como:

- a) Impactos econômicos, sociais, ambientais, científicos e tecnológicos;
- b) Fonte de recursos: própria, agências de fomento (CNPq, CAPES, FINEP), instituições de ensino (universidades, institutos), pesquisa (Embrapa) e extensão

(Emater), financiamento em bancos ou cooperativas de crédito, programas de governo (PRONAF Florestal, Programa ABC), contrapartida financeira, entre outras.

c) Considerações finais: algo que o pesquisador queira acrescentar a fim de enriquecer as informações contidas no projeto de pesquisa, tomando cuidado para não se tornar redundante.

3.2.15 Referências bibliográficas

A literatura citada no projeto é aqui listada, seguindo normas técnicas, como as da NBR 6023/ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2002).

3.2.16 Apêndices e anexos

Os apêndices são informações diretamente relacionadas ao projeto de pesquisa, que não foram listadas no texto, mas, que são importantes para o conjunto, como por exemplo: memórias de cálculo, descrições específicas de alguns materiais e métodos, deduções e expressões matemáticas, dados auxiliares etc.

Os anexos são informações que não estão relacionadas diretamente com o projeto de pesquisa, como, curriculum da equipe envolvida, cópia de leis, documentos etc.

3.3 Análise de projetos de pesquisa

O pesquisador ao elaborar um projeto de pesquisa deverá ter em mente, além dos fatores técnicos que se pretende estudar, outros fatores que são relevantes e muito utilizados como critérios de avaliação, principalmente, pelas agências de fomento à pesquisa, como, por exemplo:

- a) Originalidade e caráter de inovação;
- b) Resultados esperados, mérito científico e benefícios a sociedade;
- c) Adequação metodológica;
- d) Composição e experiência da equipe, principalmente do coordenador do projeto;
- e) Inter e multidisciplinaridade da proposta;
- f) Relevância para o desenvolvimento científico e tecnológico;
- g) Adequação do orçamento e cronograma físico aos objetivos do projeto;
- h) Necessidade real dos recursos;
- i) Consistência entre a infraestrutura disponível e os recursos humanos envolvidos na execução do projeto;

- j) Contribuição para superação de desigualdades regionais;
- k) Formação e qualificação de recursos humanos.

3.4 Ética e boas práticas em pesquisa

A Fundação de Amparo a Pesquisa de São Paulo (FAPESP, 2011) publicou algumas diretrizes sobre a concepção, a proposição e a realização da pesquisa científica, com o objetivo de definir normas para práticas sobre as quais pode haver interpretações divergentes, principalmente, quanto à ética na pesquisa e conduta do pesquisador. A nosso ver, essas diretrizes são relevantes, de maneira que, o pesquisador deve:

...visar oferecer uma contribuição que julgue ser original e relevante ao avanço da ciência.

...estar convencido de que dispõe da capacidade científica para bem realizar seu projeto de pesquisa, assim como dos recursos humanos e institucionais necessários para sua boa realização.

...expor com precisão e objetividade os fatores positivos e negativos que julgue capazes de influir na determinação do grau de originalidade, relevância e viabilidade do projeto.

...declarar a existência de qualquer conflito potencial de interesses que possa afetar a fidedignidade científica dos resultados do desenvolvimento do projeto.

...lançar mão dos procedimentos que julgue serem cientificamente os mais apropriados e deve realizá-los da maneira que julgue ser cientificamente a mais apropriada para a obtenção dos fins científicos visados.

...até a publicação dos resultados finais da pesquisa manter em sigilo os dados e informações coletados, os procedimentos realizados e os resultados parciais obtidos, exceto quando sua divulgação for expressamente autorizada por todos os colaboradores ou por todos os coordenadores da equipe.

...informar seus dados curriculares de maneira veraz, completa e precisa.

4 SUGESTÃO DE EXPERIMENTOS

4.1 Diretrizes para experimentos envolvendo testes de procedências

Para implantação de testes de procedências é necessário observar as informações que vão desde a escolha do local, seleção de matrizes e produção de mudas, até a implantação do teste, conforme Wright (1962), Burley e Wood (1979), Ferreira e

Araújo (1981), Eldridge et al. (1993), Pederson et al. (1993), Costa et al. (2007) e Cornelius e Guerra (2010).

4.1.1 Caracterização da área de ocorrência natural

a) A seleção das áreas de colheita de sementes é a primeira atividade a ser realizada no estabelecimento do teste de procedências. Essas áreas são definidas como aquelas que possuem árvores de populações naturais ou implantadas, podendo ser públicas, privadas e unidades de conservação de uso sustentável (ALBRECHT et al., 2003).

b) Caracterizar os fatores fisiográficos (altitude, declividade, exposição, latitude e longitude), edáfico (tipo de solo, propriedades físicas, químicas) e climáticos (temperatura, precipitação, déficit hídrico). Quanto maiores as semelhanças entre o local de ocorrência natural da espécie ou procedência e os locais onde pretende-se cultivá-la, maiores serão as chances de adaptação. Pequenas deficiências de um determinado fator podem ser compensadas por outro (WRIGHT, 1962).

c) Para escolha dos locais a serem amostrados é necessário conhecer a amplitude da área de ocorrência e a variação natural da espécie e a variação entre as áreas potenciais de plantio.

d) Avaliar o número de árvores para coleta de sementes e forma de ocorrência (aleatória, contínua, mosaicos), de tal forma que a coleta de sementes seja geneticamente representativa de toda a população, evitando amostras com materiais genéticos aparentados, comuns em regiões de mosaicos.

4.1.2 Coleta de sementes e propágulos

a) As sementes devem ser colhidas de árvores dominantes e codominantes (apresentem características fenotípicas e genotípicas superiores às demais), distantes a pelo menos 100 m entre si.

b) Recomenda-se evitar árvores isoladas ou em bordas da vegetação, pois podem surgir problemas de autofecundação ou crescimento superior devido a pouca ou nenhuma competição.

c) Recomenda-se identificar com coordenadas geográficas as árvores escolhidas para coleta de sementes. Para tanto pode-se utilizar equipamentos de posicionamento global, como receptores de sinais de GPS.

d) O número de árvores selecionadas dependerá da variação fenotípica entre árvores em cada localidade. Recomenda-se coletar no mínimo 20 a 25 matrizes por procedência, garantindo uma representatividade genética da região de coleta.

e) O número de procedências por espécie a ser testada dependerá da diversidade e abrangência nos locais de ocorrência natural.

f) Preferencialmente e se possível, a colheita deverá acontecer em anos de boa produção, em quantidades equivalentes por matrizes. É importante ressaltar que em anos de produção irregular poderá resultar em árvores atípicas impossibilitando uma boa seleção de árvores e locais.

g) É fundamental um arquivo histórico específico para cada procedência contendo todas as informações até a fase final dos testes, desde a localização, marcação de matrizes, coleta de sementes, lotes de sementes e de mudas.

4.1.3 Estabelecimento dos ensaios

Ao estabelecer os ensaios, é importante que se tenha informações da diversidade e variabilidade genética, estimativa de origens, exigências edafoclimáticas e avaliação e seleção de genótipos superiores das procedências que se deseja avaliar. O uso de marcadores moleculares é uma técnica que pode ser utilizada para este fim e diversos estudos já demonstraram sua eficiência (NARAYANAN et al., 2007; COSTA et al., 2007; ALCÂNTARA, 2009; FOFANA et al., 2009; ANSARI et al., 2012; MOREIRA, 2012; GIUSTINA, 2014).

O objetivo é avaliar o máximo de procedências promissoras ou, identificar as procedências mais promissoras dentro dos grupos de genótipos que apresentaram características genéticas similares, caracterizadas ou identificadas, por exemplo, pelos marcadores moleculares.

a) A duração desta fase é de no mínimo $\frac{1}{2}$ da rotação.

b) Recomenda-se que o espaçamento de plantio seja o suficiente para evitar competição na fase inicial de crescimento, pois pode-se eliminar procedências promissoras que apresentam crescimento inicial mais lento.

c) O delineamento experimental recomendado é o de blocos ao acaso, blocos incompletos (quando houver muitas procedências) ou quadrado latino (quando houver muita heterogeneidade das condições ambientais), com três a quatro repetições.

d) O tamanho da parcela dependerá do número de plantas, espaçamento inicial, período de avaliação, teste combinado e do manejo. A tendência dos testes de procedências são parcelas menores com maior número de repetições (blocos).

e) Preferencialmente, as parcelas devem ser quadradas (16, 25, 36 plantas), de maneira que, ocorra menor variação possível nas condições ambientais, sobretudo edáficas dentro das parcelas. Contudo, em alguns casos a forma das parcelas dependerá

de práticas silviculturais, como, preparo do solo e tratos culturais e da variabilidade do solo (gradientes de fertilidade). Neste caso, recomendam-se parcelas retangulares, cujo maior comprimento seja paralelo ao gradiente de variação.

f) Nas parcelas há necessidade de uma ou mais linhas de bordadura, para evitar competição entre as procedências, que é um dos princípios básicos do teste.

g) Quando houver poucas plantas, evitar plantios em filas, que podem estar sujeitas a variações ambientais, e sim parcela com planta única, com maior número de repetições, pois, procedências com crescimento inicial mais rápido podem ser beneficiadas e, não necessariamente podem ser as mais promissoras ao final do teste.

h) Nesta fase são avaliados a diversidade e variabilidade genética, crescimento e produção, forma de fuste e copa, casca, ramificação, morfologia de folha, fruto e sementes, fenologia, aspectos fisiológicos, adaptação e tolerância às adversidades do meio, uniformidade, sobrevivência, qualidade da madeira e comparar genótipos.

i) Também é possível analisar genótipo oriundo de árvores superiores com aquelas comerciais comuns.

4.2 Diretrizes para experimentos envolvendo espaçamentos

a) Testar ou instalar parcelas em diferentes formatos (quadrada, retangular) e arranjos (retangular, quadrado, hexagonal ou triângulo equilátero, quadrados sobrepostos ou quincôncio).

b) É recomendável que a parcela possua no mínimo cinco fileiras de plantas, além de fileiras para bordadura nos limites da parcela ou subparcela.

c) Instalar experimentos buscando informações quanto às interações entre espécies, espaçamentos e idades de corte com as espécies/procedências já definidas como potenciais para as diferentes regiões do país.

d) Avaliar dados de crescimento e produção, idade técnica de aplicação de práticas silviculturais e de corte, sobrevivência, características tecnológicas da madeira, forma de fuste, dominância.

e) Evitar a extrapolação de resultados de estudos de espaçamentos feitos com outras espécies e em outras situações de solo e clima, para espécies e/ou condições ambientais particulares.

f) Avaliar qual variável seria mais lógico analisar: o efeito da distância entre covas ou a área útil por planta.

g) Realizar estudos e testar metodologias para identificar o momento ótimo para aplicação de desbastes em função do espaçamento inicial, de maneira que este seja realizado quando o povoamento inicie a estagnação.

h) Coletar dados de custos e rendimentos operacionais das atividades, que podem orientar o gerenciamento das atividades e tomada de decisões.

i) Incluir estudos do efeito do espaçamento sobre a ciclagem de nutrientes, sub-bosque, índices de área foliar.

j) Desenvolver estudos sobre gestão e controle da qualidade na definição dos espaçamentos.

k) Como o espaçamento interage com outras práticas silviculturais (controle da matocompetição, desbaste, desrama) recomenda-se implantar experimentos com essas práticas e avaliar os efeitos isolados e as interações entre elas.

l) Utilizar os dados e resultados dos experimentos para construção de modelos processuais, visando avaliar causas.

4.3 Diretrizes para experimentos envolvendo métodos de preparo do solo

Durante o Seminário sobre Cultivo Mínimo do Solo em Florestas ocorrido em 1995, na cidade de Curitiba-PR, Zen et al. (1995) propuseram diversos estudos relacionados ao cultivo mínimo, tais como:

- Dinâmica dos nutrientes do solo no sistema do cultivo mínimo e cultivo intensivo;
- Infiltração, armazenamento e perda de água nos diferentes cultivos do solo;
- Estudo da dinâmica populacional da microbiologia do solo e seus reflexos na produtividade;
- Influência do cultivo mínimo na ocorrência de pragas e doenças;
- Balanço nutricional em função dos ganhos e perdas de nutrientes;
- Sistemas de manejo x tratos culturais;
- Influência do manejo nas perdas de solo;
- Grau de expectativa da manutenção da produtividade do sítio em função de manejo proposto.

Além destas, seguem algumas diretrizes que podem subsidiar pesquisas relacionadas a espaçamentos, sendo:

- a) Testar ou instalar parcelas em diferentes formatos (quadrada, retangular) e arranjos (retangular, quadrado, hexagonal ou triângulo equilátero, quadrados sobrepostos ou quincôncio).
- b) Preferencialmente o delineamento deve ser em blocos casualizados em faixas ou em esquema de parcelas subdivididas, sendo que nas faixas ou parcelas testa-se os fatores primários (métodos de preparo de solo) e nas parcelas ou subparcelas os fatores secundários (genótipo, fertilização, controle da matocompetição).
- c) É recomendável que a parcela possua no mínimo cinco fileiras de plantas, além de fileiras para bordadura nos limites da parcela ou subparcela.
- d) Avaliar o crescimento, produção e a heterogeneidade das árvores em função de diferentes métodos de preparo do solo.
- e) Correlacionar métodos de preparo de solo com variáveis climáticas.
- f) Avaliar os métodos de preparo em função das características das classes de solo.
- g) Correlacionar as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo em função dos diferentes métodos de preparo.
- h) Avaliar o efeito dos métodos de preparo do solo sobre o crescimento, distribuição e arquitetura do sistema radicular.
- i) Incluir estudos do efeito dos métodos de preparo de solo sobre a ciclagem de nutrientes, sub-bosque.
- j) Desenvolver pesquisas relacionando os métodos de preparo de solo e o controle da matocompetição.
- k) Avaliar efeito das dimensões de covas e sulcos sobre o crescimento inicial das árvores.
- l) Correlacionar a distribuição de fertilizantes durante o preparo do solo com o crescimento e produção das árvores.
- m) Ao adotar o cultivo reduzido, avaliar diferentes profundidades de subsolagem, bem como a desestruturação do solo.
- n) Desenvolver pesquisas relacionadas ao manejo de resíduo com preparo do solo, como por exemplo, composição, mineralização, proteção, fixação e liberação de nutrientes, etc.
- o) Avaliar o momento ótimo de se fazer o preparo do solo, com base em características físicas e hídricas (teor de umidade), como por exemplo, o intervalo hídrico ótimo.

- p) Desenvolver pesquisas relacionando a profundidade de preparo de solo e de aplicação de fertilizantes com a sobrevivência, crescimento e produção das árvores, principalmente em regiões com déficit hídrico.
- q) Em terrenos acidentados, as linhas de plantio devem ser paralelas à inclinação, o que facilita a colheita e transporte.
- r) Desenvolver estudos relacionando o preparo do solo e infestação de pragas e doenças.
- s) Estudar formas (preventivas e curativas) de minimizar o efeito da compactação causada por máquinas e implementos durante as operações florestais.
- t) Estudar formas de reduzir o escoamento superficial em povoamentos florestais.
- u) No cultivo reduzido, recomenda-se avaliar os tipos de subsoladores, profundidade de subsolagem e tipos de hastes.
- v) Avaliar custos e rendimentos operacionais das atividades de preparo de solo, que podem orientar o gerenciamento das atividades e tomada de decisões.
- w) Incluir estudos do efeito das práticas silviculturais adotadas sobre a ciclagem de nutrientes, sub-bosque, índices de área foliar.
- x) Estudo da influência da padronização de procedimentos operacionais (manobra e operador) na eficiência operacional do conjunto trator subsolador.
- y) Estudo comparativo da subsolagem com diferentes tipos de máquinas e implementos.
- z) Avaliar a qualidade das operações de preparo de solo (uniformidade, profundidade, largura, volume de solo, equipamentos, aplicação de fertilizantes e herbicidas, etc.).

4.4 Diretrizes para experimentos envolvendo fertilização

Além das diretrizes apresentadas, em experimentos com fertilização, especificamente, recomenda-se:

- a) Instalar parcelas ou subparcelas retangulares, em delineamento em blocos casualizados, com área igual ou superior a 1500 m². Entretanto, se o objetivo for analisar conjuntamente tipos de correção do solo ou desbaste em parcelas subdivididas ou faixas, as parcelas deverão apresentar tamanho suficiente para comportar os tratamentos, nestes casos, recomendam-se parcelas ou subparcelas com área de no mínimo 2500 m².
- b) É recomendável que a parcela possua no mínimo cinco fileiras de plantas, além de fileiras para bordadura nos limites da parcela ou subparcela.

- c) Periodicamente, recomenda-se coletar amostras de solo para análise de propriedades físicas, químicas e biológicas, cujos resultados podem ser correlacionados com o crescimento e produção das árvores.
- d) O solo deve ser coletado nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm.
- e) Para diagnose do estado nutricional das árvores através de análise de folhas recomenda-se colheita de folhas maduras da porção mediana do ramo, presentes no terço superior da copa, preferencialmente colhidas no início da estação chuvosa, quando há maior concentração de nutriente (JAYAMADHAVAN et al., 2000).
- f) Partes do tronco, raízes, galhos e serapilheira também devem ser analisados para avaliar estado nutricional, absorção, acúmulo e partição de nutrientes.
- g) Desenvolver pesquisas relacionadas à transferência de nutrientes do solo para as plantas, eficiência de absorção.
- h) Desenvolver pesquisas sobre dinâmica de solubilização de fertilizantes para atender a demanda de espécies de rotação longa.
- i) Avaliar tipos de equipamentos e sua eficiência na aplicação do fertilizante.
- j) Avaliar eficiência da aplicação de fertilizantes em área total ou localizada.
- k) Avaliar a participação da serapilheira na reposição de nutrientes para o solo, consequentemente, para as plantas.
- l) Avaliar o efeito da aplicação de compostos ou resíduos orgânicos não tóxicos, como, esterco de animais, lodo de esgoto, composto de resíduos sólidos urbanos.
- m) Propor regimes de fertilização antes (arranque) e após o plantio (cobertura), considerando as necessidades da cultura e as práticas silviculturais, como, desbaste e desrama.
- n) Idealizar pesquisas sobre fertilização baseadas no princípio do balanço nutricional, que leva em consideração os conteúdos dos nutrientes no solo (em diferentes profundidades), na manta orgânica e nos componentes das árvores.
- o) Visando manter a sustentabilidade da fertilidade do solo, recomenda-se realizar pesquisas de modo a suprir a demanda da planta sem exaurir as reservas do solo.
- p) Desenvolver pesquisas relacionando a profundidade de preparo de solo e de aplicação de fertilizantes com a sobrevivência, crescimento e produção das árvores, principalmente em regiões com déficit hídrico.
- q) Como a fertilização interage com outras práticas silviculturais (espaçamento, controle da matocompetição, desbaste, desrama) recomenda-se implantar experimentos com essas práticas e avaliar os efeitos isolados e as interações entre elas.

4.5 Diretrizes para experimentos envolvendo controle da matocompetição

Segundo Silva et al. (2004) dez palavras-chave descrevem os processos recomendados, e elas são um bom guia para o programa de manejo integrado da matocompetição:

- 1) Monitorar sementes e espécies da área de produção.
- 2) Identificar as espécies-problema e suas densidades.
- 3) Estudar os métodos usados na propriedade.
- 4) Conhecer as espécies dominantes e suas interações.
- 5) Prever populações e mudanças de populações de plantas daninhas.
- 6) Decidir quando o controle deve ser feito.
- 7) Escolher a tecnologia de controle compatível com o sistema.
- 8) Considerar os recursos e as necessidades da empresa.
- 9) Integrar os processos com as medidas de proteção das culturas.
- 10) Avaliar os impactos ambiental, social e econômico em longo prazo.

Nesse contexto, seguem algumas diretrizes que podem subsidiar pesquisas relacionadas ao controle da matocompetição, sendo:

- a) Preferencialmente o delineamento deve ser em blocos casualizados em faixas ou em esquema de parcelas subdivididas, sendo que nas faixas ou parcelas testam-se os fatores primários (métodos de controle, tipo de produto) e nas parcelas ou subparcelas os fatores secundários (doses, por exemplo).
- b) É recomendável que a parcela possua no mínimo cinco fileiras de plantas, além de fileiras para bordadura nos limites da parcela ou subparcela.
- c) Avaliar o efeito da matocompetição sobre crescimento e produção florestal.
- d) Incluir estudos do efeito dos métodos de controle sobre a ciclagem de nutrientes, sub-bosque.
- e) Desenvolver pesquisas relacionando os métodos de preparo de solo e a infestação e o controle da matocompetição.
- f) Desenvolver pesquisas relacionadas ao manejo de resíduo da matocompetição, como por exemplo, composição, mineralização, proteção, fixação e liberação de nutrientes, etc.
- g) Avaliar o momento ótimo de se fazer o controle da matocompetição.
- h) Definir períodos de convivência entre a matocompetição e a cultura florestal, como aqueles sugeridos por Pitelli e Durigan (1984): período total de prevenção da interferência (PTPI), período anterior a interferência (PAI), período crítico de prevenção da interferência (PCPI).

- i) Pesquisar as faixas de controle que minimizem o grau de interferência da matocompetição sobre a cultura florestal.
- j) Desenvolver estudos relacionando a matocompetição e a infestação de pragas e doenças.
- k) Idealizar pesquisas sobre eficiência dos métodos de controle da matocompetição, tais como, preventivos, culturais, manuais, mecânicos, químicos ou biológicos.
- l) Testar produtos e doses de herbicidas para controle da matocompetição antes e após o plantio.
- m) Idealizar pesquisas sobre manejo integrado de plantas daninhas em sistemas agroflorestais ou sistemas de integração lavoura, pecuária e floresta.
- n) Avaliar custos e rendimentos operacionais das atividades, que, podem orientar o gerenciamento das atividades e tomada de decisões.
- o) Avaliar a qualidade das operações (uniformidade de aplicação, vazão, desperdícios, equipamentos, eficiência, etc.).
- p) Desenvolver estudos relacionados à ergonomia e segurança do trabalho florestal.
- q) Desenvolver equipamentos que permitam a aplicação dos herbicidas com maior segurança para as culturas e o meio ambiente
- r) Idealizar pesquisas com princípios ativos que venham a subsidiar discussões quanto aumento do número de herbicidas para a área florestal, com registro junto aos órgãos competentes entre outros e aceitação pelos órgãos de certificação ambiental.

4.6 Diretrizes para experimentos envolvendo desrama artificial

Além das diretrizes já apresentadas, especificamente a equipe envolvida na pesquisa deve atentar-se a:

- a) Como as atividades de desrama antecede o desbaste, poderá utilizar as mesmas parcelas experimentais para estas atividades. Neste caso, poderia utilizar o método de parcelas subdivididas, com tratamentos de desbaste nas parcelas e desrama nas subparcelas.
- b) Se o objetivo for analisar desrama com outras práticas silviculturais (desbaste, controle da matocompetição, fertilização), as parcelas deverão ter áreas iguais ou maiores que 2.500 m².
- c) É recomendável que a parcela possua no mínimo 30 plantas úteis, distribuídas em pelo menos, cinco fileiras de plantas, além de fileiras para bordadura nos limites da parcela ou subparcela.

- d) A desrama artificial é uma técnica silvicultural onerosa, tem que ser bem planejada e realizada com qualidade.
- e) Utilizar diferentes graus de desrama e épocas de aplicação e avaliar o comportamento antes e após a aplicação.
- f) Na definição de regimes de desrama, considerar a idade, espaçamento de plantio, qualidade do sítio, genótipo, além da análise econômica.
- g) A desrama deve ser realizada de modo a ter o menor núcleo nodoso possível, sem diminuir o crescimento da planta.
- h) Recomenda-se que a desrama seja definida com base na proporção da área foliar, em vez de utilizar a altura total da planta ou copa viva.
- i) A desrama deve ser aplicada antes do surgimento de galhos mortos ou do aumento do diâmetro dos galhos vivos.
- j) Para árvores que apresentam galhos grossos e longos na base, com elevada área foliar, a proporção da altura da copa viva a ser removida deve ser menor do que para aquelas que apresentam galhos finos e curtos na base da copa.
- k) É comum em mudas clonais a emissão de brotações ou ramos “ladrões”, que necessitam ser eliminados até o primeiro ano de idade.
- l) Durante a operação, recomenda-se serrar o mais rente possível da casca, evitando deixar “cotós”, formação de embiras e nós.
- m) Em ramos ou galhos de maior porte e peso é necessário efetuar dois cortes para evitar danos ao tronco. O primeiro a cerca de 50 cm do tronco e o segundo rente a este.
- n) Existem diversos equipamentos, desde as serras manuais acopladas ou não a cabos extensores até os mecanizados (motopodas).
- o) Realizar estudos e testar metodologias para identificar o momento ótimo para aplicação de desrama.
- p) Coletar dados de custos e rendimentos operacionais das atividades, se o objetivo é avaliar diferentes equipamentos na desrama, como, motopoda, serra com cabos extensores.
- q) Incluir estudos do efeito das práticas silviculturais adotadas sobre a ciclagem de nutrientes, sub-bosque, índices de área foliar, fisiologia.
- r) Como a desrama interage com outras práticas silviculturais (desbaste e fertilização) recomenda-se implantar experimentos com essas práticas e avaliar os efeitos isolados e as interações entre elas.

s) Utilizar a modelagem (regressão ou RNA) para processamento e análise dos dados, pois, há possibilidade de determinação de graus, avaliação de efeitos, simulação de cenários e análise quantitativa (CAMPOS; LEITE, 2013; PAIVA; LEITE, 2015).

t) A primeira desrama é realizada a partir do segundo ano, em todos os indivíduos. Porém, a partir da segunda desrama, apenas os indivíduos que permanecerão na área até o corte final serão desramados.

u) Conduzir estudos relacionados à ergonomia e segurança do trabalho florestal.

4.7 Diretrizes para experimentos envolvendo desbaste

Algumas diretrizes para estudos envolvendo desbaste são apresentadas a seguir, conforme Nogueira (2003), Dias (2005), Leite et al. (2008), Campos e Leite (2013) e Paiva e Leite (2015):

a) Instalar parcelas retangulares, com área igual ou maior a 2.500 m².

b) É recomendável que a parcela possua no mínimo cinco fileiras de plantas, além de fileiras para bordadura nos limites da parcela ou subparcela.

c) Utilizar diferentes pesos de desbaste, com base na redução de área basal e avaliar o comportamento antes e após o desbaste.

d) Antes e imediatamente após os desbastes recomenda-se fazer inventário para aferir a quantidade de área basal removida e remanescente. Estas informações serão utilizadas na indicação do peso adequado de desbaste para cada unidade de manejo.

e) Conduzir estudos e testar metodologias para identificar o momento ótimo para aplicação de desbastes, de maneira que o desbaste seja realizado quando o povoamento inicie a estagnação do crescimento.

f) Dependendo dos objetivos do experimento, a cada desbaste recomenda-se coleta de amostras de solo para análise de propriedades físicas, químicas e biológicas, cujos resultados podem ser correlacionados com o crescimento e produção das árvores. A redução da competição promovida pelo desbaste e a melhoria das propriedades químicas do solo promovida pela fertilização promoverá maiores incrementos no crescimento e produção, podendo inclusive reduzir a idade de rotação.

g) Coletar dados de custos e rendimentos operacionais das atividades (inventário, marcação das árvores, desbaste, retirada da madeira, etc.), que podem orientar o gerenciamento das atividades e tomada de decisões.

h) Incluir estudos do efeito das práticas silviculturais adotadas sobre a ciclagem de nutrientes, sub-bosque, índices de área foliar.

i) Ao avaliar pesos de desbaste, aplicar o desbaste próximo da época de estagnação do crescimento e não em idades pré-fixadas.

j) Como o desbaste interage com outras práticas silviculturais (desrama e fertilização) recomenda-se implantar experimentos com essas práticas e avaliar os efeitos isolados e as interações entre elas.

k) Utilizar a modelagem (regressão ou RNA) para processamento e análise dos dados, pois, há possibilidade de determinação de regimes ótimos, avaliação de efeitos, simulação de cenários e análise quantitativa (CAMPOS; LEITE, 2013; PAIVA; LEITE, 2015).

l) Utilizar, também, metodologias fundamentadas em modelos de processos, como o 3-PG, baseados em processos ecofisiológicos, para decidir sobre o momento ótimo para aplicação do desbaste. Esse tipo de modelo leva em consideração dados do clima (temperatura, radiação e precipitação); do solo (fertilidade, textura, disponibilidade de água); da planta (massa inicial de lenho, folhas e raízes, população de árvores, coeficientes das equações alométricas que relacionam o diâmetro a 1,3 m de altura (dap) com a massa de stem (tronco+galhos), volume, e a altura); e fisiológicas (eficiência quântica máxima do dossel, condutância estomática do dossel, relação produção primária líquida (PPL) e produção primária bruta (PPB), etc.).

m) Conduzir pesquisas com desbaste relacionado à regulação da produção florestal, de forma a obter o regime ótimo de desbastes nas unidades de manejo de povoamentos, visando à produção sustentável da empresa e orientar decisões em um horizonte de planejamento (DIAS, 2005). Devem ser consideradas restrições de ordem econômica, social, ambiental e silvicultural que possam influenciar o regime de desbaste e comprometer a produção.

n) No desbaste por baixo, deve-se eliminar indivíduos das classes suprimidas e intermediárias, bifurcadas e com tortuosidade e aquelas com ocorrência de danos físicos e biológicos que comprometam a árvore. Além disso, deve-se observar a distribuição espacial para que não ocorram clareiras tendo o cuidado de retirar árvores suficientes para diminuir a competição.

o) O critério para desbaste recomendado é pela área basal, sendo necessário um controle rigoroso dos indivíduos a serem desbastados, de modo a não alterar os pesos de desbaste pré-estabelecidos.

p) Uma forma eficiente de controlar pesos de desbaste via área basal é sugerida por Campos e Leite (2013). Os autores recomendam codificar um algoritmo em um coletor de dados, tablet, smartphone, computador portátil ou em uma calculadora manual, de

modo que, ao digitar os diâmetros das árvores marcadas para desbaste, o aplicativo já vai indicando o somatório das áreas seccionais das árvores a serem colhidas, até atingirem a área basal estabelecida (peso).

q) Para um mesmo genótipo, espaçamento e local, a idade técnica do primeiro desbaste será igual para todos os tratamentos. Já para os demais, está deverá ser função dos pesos de desbaste aplicados na primeira intervenção.

r) A definição da idade técnica de desbaste pode ser definida pela modelagem dos dados coletados anualmente, como, regressão, modelo de distribuição de diâmetro (MDD), método dos ingressos percentuais (MIP).

s) Idealizar estudos envolvendo a partição do crescimento dentro do talhão, nas diferentes classes de tamanho das árvores, usando como ferramenta os índices de heterogeneidade e de dominância do crescimento.

t) Conduzir estudos relacionados à ergonomia e segurança do trabalho florestal.

5 INSTALAÇÃO DE EXPERIMENTOS

5.1 Aspectos gerais

Para gerar resultados seguros sobre crescimento e produção de determinada espécie ou clone, bem como fomentar o plano de manejo florestal é necessário um conjunto de informações prévias, geralmente constituídas por bancos de dados oriundo do inventário florestal contínuo ou de unidades experimentais.

Esses bancos de dados deverão conter informações confiáveis e consistentes em diferentes idades ao longo da rotação. Para isso, há necessidade de rigoroso controle de todas as atividades nas diferentes fases do experimento, de modo a assegurar com maior precisão possível que os resultados obtidos sejam decorrentes dos tratamentos aplicados e não de efeitos aleatórios.

A análise desses dados possibilitará determinar a idade técnica apropriada para se fazer intervenções silviculturas importantes, como, desbaste, além de determinar o efeito dessas práticas sobre a mudança na tendência de crescimento após sua aplicação, bem como as interações que venham a ocorrer.

Nesse sentido, são apresentadas algumas considerações sobre experimentos envolvendo teste de procedências, espaçamentos, preparo do solo, fertilização, controle da matocompetição, desrama e desbaste.

5.2 Local para realização de pesquisas

Alguns aspectos são relevantes para qualquer local, como, tamanho da área disponível, acesso, segurança, logística, disponibilidade de mão de obra e equipamentos, fonte de recursos financeiros para custeio de despesas, certeza que o projeto não será interrompido (rotação longa), comprometimento quanto ao cumprimento dos requisitos da pesquisa, rigor na implantação, condução e coleta de dados do experimento, necessidade de capacitação dos agentes envolvidos e manejo silvicultural e sanitário.

Experimentos visando pesquisas com controle da matocompetição, fertilização, desbaste e desrama, podem ser instalados em áreas onde não há ou, naquelas onde existam povoamentos florestais. A seguir são apresentadas informações relevantes à implantação.

5.3 Experimentos em áreas sem povoamentos florestais

Neste item serão tratadas informações referentes à escolha e caracterização local, sistematização do terreno, plantio e tratos culturais. Informações adicionais sobre essas atividades são encontradas em Paiva et al. (2011) ou na literatura especializada.

5.3.1 Escolha e caracterização do local

Os fatores climáticos (radiação, temperatura, água, gases atmosféricos), edáficos (características químicas e físicas), geográficos (gravidade, rotação, posição geográfica, vulcanismo, erosão e deposição, topografia), fogo (queimada e incêndios) e bióticos (outras plantas, microrganismos, animais e o homem), em uma relação complexa, influenciam o crescimento e desenvolvimento das plantas, sobretudo de indivíduos arbóreos. Isso faz com que as árvores possuam modos diferenciados de crescimento conforme a localidade em que se encontram (TOUMEY; KORSTIAN, 1949; BILLINGS, 1952; CAMPOS, 1970). Portanto, recomenda-se obter o máximo de informações acerca da área onde será instalado o experimento, garantindo maior confiabilidade dos resultados.

Os experimentos deverão ser instalados em locais que apresentam características fisiográficas e climáticas semelhantes às aquelas exigidas pela cultura, como, altitude variando entre 200 a 400 m, precipitação média anual de 1.250 a 2.500 mm, com 3 a 5 meses de seca, temperatura média anual entre 22 e 26°C, com média da temperatura máxima mensal oscilando entre 24 e 30°C e a mínima de 18 a 24°C (RONDON NETO et al., 1998).

A área onde serão implantados experimentos deve ser uniforme, com pouca ondulação, não sujeita à inundação e sem obstáculos e se possível a uma distância segura de rodovias e habitações.

Definida a área, é necessário fazer uma caracterização dos atributos físicos e químicos do solo, classificação e histórico de uso e ocupação. Para tanto, recomenda-se coleta de amostras de solo nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, abertura de trincheiras para conhecer a profundidade efetiva e perfil do solo, consulta a moradores mais antigos, instituições de ensino, pesquisa e extensão, mapas de solos e zoneamentos ambientais.

Da mesma forma, obter informações dos fatores climáticos, como, tipo de clima, temperatura (média, máxima e mínima) e precipitação (total, distribuição e déficit hídrico), geralmente disponíveis em sites de instituições públicas (INPE, INMET, empresas de pesquisa e extensão rural, instituições de ensino e prefeituras) ou particulares.

Caracterizar a paisagem quanto à vegetação original, relevo e topografia.

A área também deverá ser georreferenciada com coordenadas geográficas latitude, longitude e altitude. Essas informações são facilmente obtidas com equipamentos de posicionamento global, sites e aplicativos como google earth e google maps.

Também se faz necessária uma caracterização do uso e ocupação antrópica da área, informações essas obtidas por meio de entrevista com pessoas residentes no local a mais tempo ou análise de imagens digitais antigas.

Vale ressaltar a necessidade de atender a legislação ambiental na definição de áreas para implantação dos experimentos, além da legislação trabalhista e de segurança no trabalho em todas as atividades.

5.3.2 Sistematização do terreno

Compreende as seguintes atividades: limpeza da área, preparo do solo, medidas de proteção, demarcação das unidades experimentais, aplicação de corretivos e fertilizantes e coveamento.

A limpeza da área consiste na eliminação da vegetação existente, como por exemplo, gramíneas forrageiras, arbustos e árvores. Essas atividades podem ser executadas de forma manual (foice, enxada), mecânica (grades, arados, roçadeiras) ou química (herbicidas).

Áreas destinadas a aceiros no entorno do experimento devem ser demarcadas para prevenção de incêndios florestais. Também há necessidade de construção de cercas para evitar danos provocados por animais. É importante sinalizar a área experimental para evitar danos provocados por operações de construção de estradas, desbaste e colheita, aplicação aérea de fertilizantes ou herbicidas e vandalismo.

O sistema de preparo do solo poderá ser de forma convencional (aração e gradagem), subsolagem, escarificação ou sem revolvimento. O método dependerá dos objetivos da pesquisa, disponibilidade de recursos financeiros e de maquinário e das características do local (relevo, compactação e tipo de cobertura do solo). Se necessárias, práticas conservacionistas relacionadas ao controle de erosão e conservação de solo e água devem ser adotadas.

Antes do plantio, recomenda-se realizar um controle rigoroso de pragas, como formigas cortadeiras e cupins, a fim de evitar danos às plantas.

Dependendo do resultado da análise de solo pode ser necessária a adição de calcário, para correção da acidez, fertilizantes antes e após o plantio.

A demarcação do experimento requer controle rigoroso nas atividades de alinhamento, espaçamentos entre covas e linhas de plantio, marcação de blocos e parcelas, de acordo com o delineamento experimental definido. O uso de croquis previamente preparados facilitará essa atividade.

A abertura de covas dependerá, principalmente, da forma de preparo do solo e tipo de embalagem utilizada na produção da muda. Essa atividade poderá ser manual (enxada, chuçó) ou semimecanizada (coveadeira motorizada), mecanizada ou desnecessária, quando o solo foi subsolado ou preparado de forma convencional e o plantio realizado com plantadeira.

5.3.3 Insumos e mudas

A aquisição de insumos (sementes, mudas, corretivos de acidez, fertilizantes, defensivos, substratos), materiais, equipamentos e contratação de prestadores de serviços devem acontecer de tal forma que, ao iniciar a implantação do experimento esses recursos não poderão faltar.

A confiabilidade do resultado de um experimento dependerá também da qualidade das mudas utilizadas. Mudas com alto padrão de qualidade são capazes de suportar as adversidades do meio, apresentam maiores percentuais de sobrevivência no campo, possibilitam diminuição da frequência dos tratos culturais após o plantio.

Também devem apresentar quantidade suficiente para atender as operações de plantio e replantio.

As mudas devem apresentar uniformidade quanto à altura, diâmetro do coleto e número de folhas, rusticidade, bem aclimatadas, sem sintomas de deficiência hídrica e nutricional, sistema radicular bem desenvolvido e sem enovelamento e ausência de pragas e doenças. O sistema de produção deve ser rigoroso, quanto a quebra de dormência, substrato, recipientes, semeadura, manejo, aclimação e transporte.

5.3.4 Plantio

Preferencialmente, esta atividade deverá ser realizada em dias chuvosos ou com solo úmido. A irrigação no plantio e, em casos de períodos de estiagem é recomendada, sendo que a quantidade e frequência dependerão do clima e solo. Geralmente aplicam-se três litros de água por cova até o pegamento da muda.

O plantio poderá ser manual, no caso de mudas produzidas em sacolas plásticas ou semimecanizado com plantadeiras manuais, para mudas produzidas em tubetes. Também há necessidade de controle rigoroso nessa operação, principalmente quanto à profundidade de plantio, evitando afogamento de coleto e formação de bolsões de ar, e posição da muda após o plantio.

O replantio deverá acontecer em no máximo 30 dias após o plantio. A partir desse período poderá haver influência nos resultados da pesquisa.

5.3.5 Tratos culturais

A competição na fase inicial de crescimento pode reduzir o crescimento e a sobrevivência, influenciando nos resultados da pesquisa. A eliminação da matocompetição poderá ser manual (capinas, roçadas, coroamento), semimecanizada (roçadeiras costais), mecanizadas (roçadeiras acopladas a tratores agrícolas), químicas (herbicidas) ou combinação destes métodos. É necessário rigor na execução dessas atividades, de modo a não provocar danos mecânicos, toxidez e morte às plantas.

5.4 Experimentos em povoamentos comerciais

Em plantios comerciais também há possibilidade de implantação de experimentos relacionados a desbaste, desrama e fertilização, desde que sejam atendidos os princípios básicos da experimentação, tamanho de parcelas, escolha de locais e rigor na sua condução.

Os experimentos devem ser instalados de acordo com os gradientes de variação do ambiente.

Recomenda-se obter o máximo de informações acerca da área onde será instalado o experimento, garantindo maior confiabilidade dos resultados, como por exemplo, genótipo, método de preparo do solo, aplicação de tratos culturais, infestação de pragas, doenças, ervas daninhas, características do solo e clima, aplicação de fertilizantes e corretivos e manejo (controle da matocompetição, desbrota, desrama).

A distribuição das parcelas dentro dos talhões pode ser aleatória ou sistemática. No entanto, a distribuição sistemática é normalmente usada porque simplifica a implantação e posterior localização.

É possível a utilização de parcelas permanentes demarcadas para inventários florestais contínuos, desde que apresentem tamanho suficiente para comportar a aplicação dos tratamentos ao longo do tempo.

Recomenda-se fazer o georreferenciamento das parcelas com o uso de GPS, além da sua identificação.

O local deve ser bem sinalizado para evitar danos provocados por operações de construção de estradas, desbaste e colheita, aplicação de fertilizantes ou herbicidas e vandalismo.

O pesquisador tem que ficar atento quando houver heterogeneidade nas condições ambientais (solo e relevo) ou no crescimento das árvores devido a ataque de pragas, doenças, fatores climáticos e nutricionais.

5.5 Tamanho do experimento

A área experimental é influenciada pelos objetivos da pesquisa, número de tratamentos, delineamento experimental, espaçamento e número de repetições. Em experimentos com blocos muito grandes poderá haver problemas de heterogeneidade das características de solo.

Experimentos com muitos tratamentos e objetivos poderão levar a conclusões imprecisas. É preferível implantar vários experimentos menores com menos objetivos e tratamentos, do que um experimento grande.

5.6 Tamanho e forma de parcelas

A área da parcela deve apresentar tamanho suficiente para comportar os tratamentos ao longo do tempo, sem comprometer os princípios da experimentação e

garantir que na última avaliação tenha número de indivíduos suficientes para coleta e análise de dados.

Havendo necessidade, corrigir o efeito do declive do terreno (*Área do plano = área no declive \times cosseno da declividade*), já que a área da parcela refere-se ao plano horizontal.

Parcelas muito pequenas podem produzir estimativas altamente variáveis e levar a estimativas tendenciosas dos coeficientes de regressão, como resultado de efeitos de borda e viés na localização subjetiva de parcelas. Há maior variabilidade nos resultados das estimativas quando as parcelas são muito pequenas em relação ao padrão de variação do local, além de estimativas imprecisas e muitas vezes tendenciosas, no caso de mortalidade e danos.

O formato retangular é o mais recomendado, devido possíveis variações das características do local, como características do solo. Esse formato proporciona maior representatividade da área se comparado com a forma quadrada, que pode não expressar a realidade e resultar em sub ou superestimação das variáveis respostas.

Em povoamentos submetidos a desbaste é necessário que estas tenham tamanho suficiente de modo que em todas as parcelas os tratamentos possam ser empregados corretamente, já que, embora não seja adequado, em alguns tipos de desbaste é comum a remoção de fileiras inteiras.

A orientação das parcelas refere-se à direção em que se encontra o comprimento da parcela. Em estudos de fertilidade e desbastes, por exemplo, as parcelas são maiores e podem compreender gradientes de fertilidade do solo e áreas declivosas. Nestes casos, recomenda-se que as parcelas sejam orientadas na direção perpendicular aos gradientes de fertilidade e no sentido da declividade.

Na Figura 1 é ilustrado um modelo de uma parcela experimental, com a disposição de árvores, sentido de caminhamento para coleta de dados, áreas útil e total, bordadura, em formato retangular, considerando um espaçamento inicial de 3 x 3 m. Parcelas, como esta, são recomendadas para experimentos que envolvam espécies que demandam rotação mais longa e que necessitam de aplicações de práticas silviculturais, como o desbaste, ao longo da rotação.

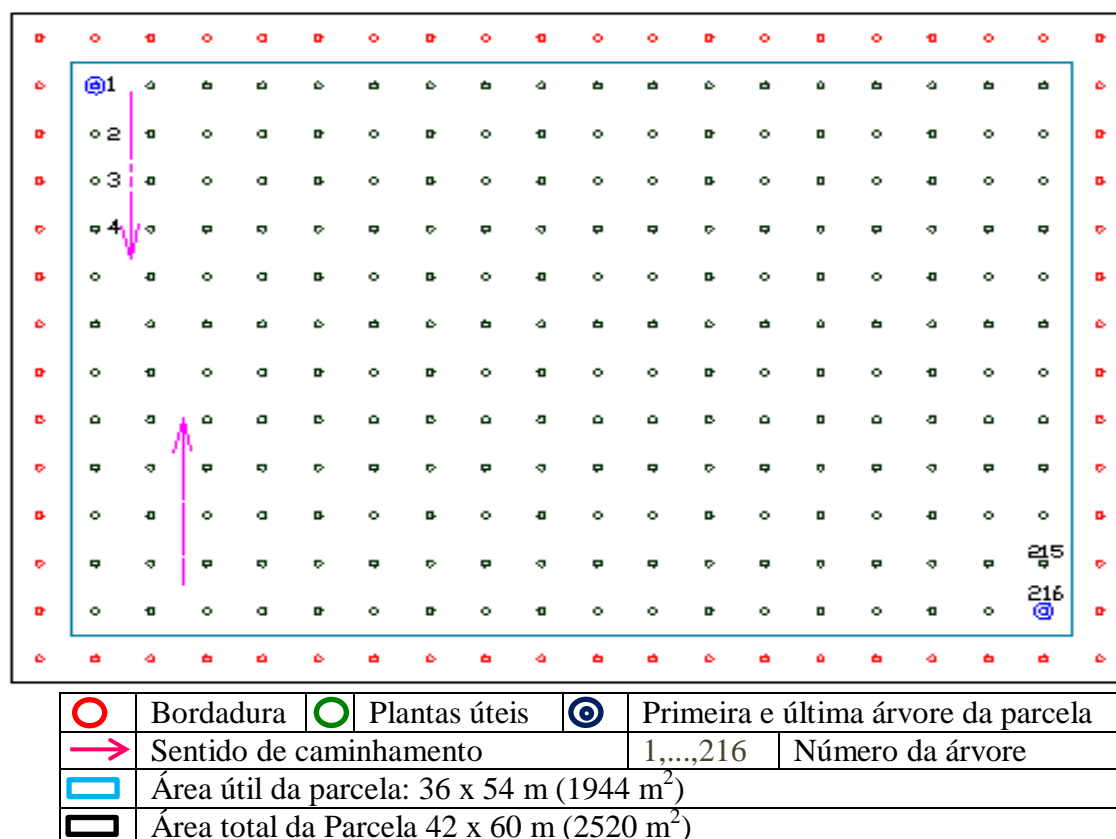


Figura 1: Modelo de uma parcela experimental.

5.7 Coleta dos dados

Recomenda-se medir as parcelas permanentes anualmente e a partir de dois anos de idade. Os dados de crescimento das árvores nas diferentes idades devem ser anotados em fichas de campo previamente preparadas ou em coletores eletrônicos, podendo ser impressas ou em meio digital.

Os dados climáticos mensais, como temperatura e precipitação deverão ser coletados a partir da instalação do experimento.

Amostras de solos, inclusive antes da instalação do experimento, e da planta devem ser coletadas de acordo com os objetivos da pesquisa. Se as informações obtidas não forem suficientes para caracterizar o solo, recomenda-se abrir trincheiras para classificação do perfil, avaliar profundidade efetiva e coletar amostras do solo para verificar a fertilidade.

Cada parcela deverá ter uma ficha de campo específica. Estas, devem se manter em perfeito estado de conservação, sem rasuras, com caligrafia que permita uma boa leitura e armazenadas em local apropriado até sua digitalização. Recomenda-se criar arquivos de segurança para os dados digitais.

Os equipamentos utilizados na coleta dos dados devem apresentar bom estado de manutenção e conservação e manuseados, seguindo as orientações técnicas. Se possível, evitar rodízio da equipe que realiza a coleta de dados.

5.8 Consistência dos dados

Antes do processamento e análise dos dados recomenda-se verificar a consistência das informações a fim de identificar possíveis dados discrepantes, como, por exemplo, o diâmetro (dap) de uma árvore no ano dois é menor que no ano um. A origem dos dados discrepantes pode acontecer durante as medições a campo, no registro das mesmas na ficha de campo, na digitalização dos dados ou serem próprios das características mensuradas. Neste caso, pesquisador deverá conhecer possíveis variações das variáveis mensuradas e como elas acontecem.

6 ANÁLISE DE DADOS

Com os dados tabulados e consistidos, iniciam-se as análises estatísticas. Os primeiros testes a serem feitos são os que avaliam se os dados atendem aos pressupostos básicos da análise de variância, como, homogeneidade de variâncias (testes de Hartley, de Cochran e de Bartlett) e normalidade de variâncias (teste de Lilliefors, de assimetria, de curtose e de Qui-quadrado), além da pressuposição de aditividade dos efeitos do modelo estatístico.

Se as pressuposições forem atendidas, prossegue-se com a análise estatística, utilizando-se os métodos (análise de variância, testes de médias e, ou, regressões) pertinentes a cada tipo de delineamento, de acordo com a natureza dos tratamentos e com os objetivos do trabalho. Vale lembrar que todas as pressuposições devem ser atendidas, não basta que apenas uma delas o tenha sido.

Se as pressuposições não forem atendidas, recomenda-se fazer a transformação dos dados. Isso ocorre quando as características mensuradas não seguem uma distribuição normal, um dos princípios básicos da análise de variância, como por exemplo, a sobrevivência, que apresenta distribuição binomial. De acordo com Garcia e Leite (2006) as transformações mais utilizadas são transformação em raiz quadrada, transformação angular e transformação logarítmica.

Na Figura 2 é apresentada uma sequência para experimentação e análise de dados univariados, que compreendem as etapas da experimentação a serem cumpridas desde o planejamento até a análise dos dados.

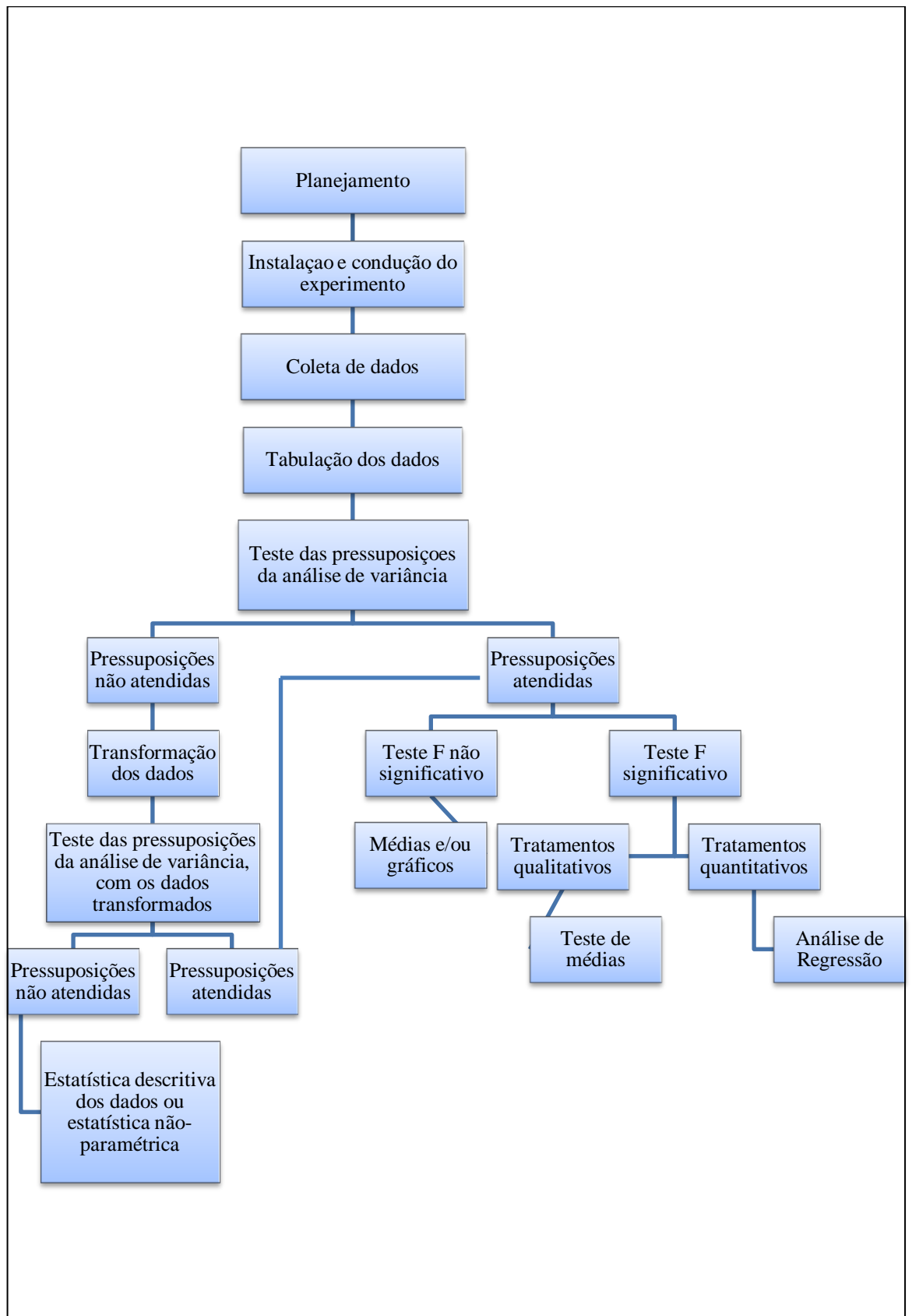


Figura 2: Fluxograma para experimentação e análise univariada de dados (originais ou transformados) (GARCIA; LEITE, 2006).

6.1 Análise de variância e teste de médias

6.1.1 Análise de variância (anova)

A análise de variância é um procedimento estatístico utilizado para verificar existência de diferenças significativas entre as médias de tratamentos, onde as seguintes hipóteses são testadas:

H_0 : os tratamentos têm os mesmos efeitos, ou seja, $t_1 = t_2 = \dots = t_l$.

H_1 : pelo menos dois tratamentos têm efeitos diferentes sobre a variável sob análise.

Para que as hipóteses anteriores sejam testadas e a análise de variância dos dados possa ser efetuada é necessário que algumas pressuposições sejam atendidas, como, os efeitos do modelo serem aditivos, os erros independentes e com variância comum (homocedasticidade e homogeneidade) e tenham distribuição normal (normalidade).

Para verificar se as variâncias dos tratamentos são homogêneas, pode-se utilizar o teste de Hartley, o teste de Cochran e o teste de Bartlett. Já os testes de assimetria, de curtose, de Qui-quadrado e de Lilliefors são utilizados para verificar se o princípio da normalidade foi atendido (PIMENTEL-GOMES, 2009).

Os modelos estatísticos e o quadro da análise de variância variam de acordo com o delineamento experimental, quantidade de fatores e disposição dos tratamentos.

O teste básico para análise de variância é o teste F (Snedecor), que visa comparar estimativas de variâncias (quadrado médio) e baseia-se nas seguintes hipóteses:

A decisão de aceitar ou rejeitar uma hipótese baseia-se na comparação entre o valor de F calculado (F_{cal}) obtido na relação entre a estimativa de variância dos tratamentos e do resíduo e o F tabelado (F_{tab}), sendo, $F_{tab} = f(F_\alpha (GLT; GLR))$ (GARCIA; LEITE, 2006).

Concluída a análise de variância e, verificada a existência de efeito entre os tratamentos (decisão de rejeitar H_0), quando o número de graus de liberdade é >1 , há necessidade de se verificar quais tratamentos diferem entre si.

Para tanto, no caso de tratamentos ou fatores qualitativos, são utilizados testes de comparações múltiplas de contrastes entre as médias desses tratamentos, como por exemplo, teste de Tukey, teste de Duncan, teste de Student-Newman-Keuls, teste de Dunnett, teste de Scheffé, teste t de Student e teste de Bonferroni (GARCIA; LEITE, 2006; BANZATTO; KRONKA, 2008; PIMENTEL-GOMES, 2009). No caso de tratamentos ou fatores quantitativos, com três ou mais níveis, deve-se utilizar a

regressão para verificar diferenças, tendências e fazer simulações (LEITE et al., 2008; CAMPOS; LEITE, 2013; SILVA, 2013).

6.1.2 Teste de médias

Os testes de média, também denominados testes para comparações múltiplas, ou testes de significância, são utilizados para verificar diferenças entre tratamentos ou fatores qualitativos e servem como complemento à análise de variância.

Segundo Garcia e Leite (2006), os testes de médias seguem basicamente o mesmo procedimento, que consiste em:

- a) estabelecer as hipóteses.
- b) escolher o nível de significância do teste a ser realizado.
- c) calcular a diferença mínima significativa (DMS).
- d) estabelecer os contrastes a serem testados e estimá-los.
- e) comparar a diferença mínima significativa com as estimativas dos contrastes.
- f) concluir o teste, com base na regra de decisão.

A escolha do teste deve ser feita de acordo com o objetivo do pesquisador e algumas vezes, no ato do planejamento, como no caso do estabelecimento de contrastes ortogonais.

Para essa escolha, as diferenças entre os testes devem ser consideradas. Por exemplo, se o objetivo do pesquisador é apenas verificar se os tratamentos diferiram de um tratamento-padrão, então o teste de Dunnett é indicado. Caso haja interesse em testar todos os tratamentos, dois a dois, os testes de Tukey, Duncan e Student-Newman-Keuls podem ser utilizados, levando-se em consideração que o teste de Duncan detecta diferenças entre tratamentos que o teste de Tukey pode não ter detectado. O teste de Scheffé é indicado quando os contrastes envolvem mais de duas médias, e não exige ortogonalidade entre eles. Quando há ortogonalidade entre os contrastes, o teste t é aplicável, desde que os mesmos tenham sido estabelecidos previamente e não, sugeridos pelos dados. O teste de Scott-Knott tem a finalidade de separar as médias em grupos distintos, através da minimização da variação dentro dos grupos e maximização da variação entre grupos.

6.2 Modelagem

A análise de dados experimentais através de análises estatísticas usuais (análise de variância e teste de médias) e por métodos de mensuração florestal são importantes sistemas de suporte a decisão (SSD).

Na literatura é comum encontrar publicações em que os tratamentos são quantitativos e seus resultados foram analisados por meio de análise de variância e testes de médias, abrindo mão de toda a flexibilidade que a mensuração florestal proporciona nesses casos, principalmente a modelagem (LEITE et al., 2008; CAMPOS; LEITE, 2013; SILVA, 2013). De acordo com os autores, isso possibilita fazer simulações de efeitos de tratamentos, monitorar o crescimento e a produção ao longo do tempo, identificar idade técnica de intervenções silviculturais, como o desbaste e gerar dados para avaliações econômicas em programas de manejo florestal (Figura 3).

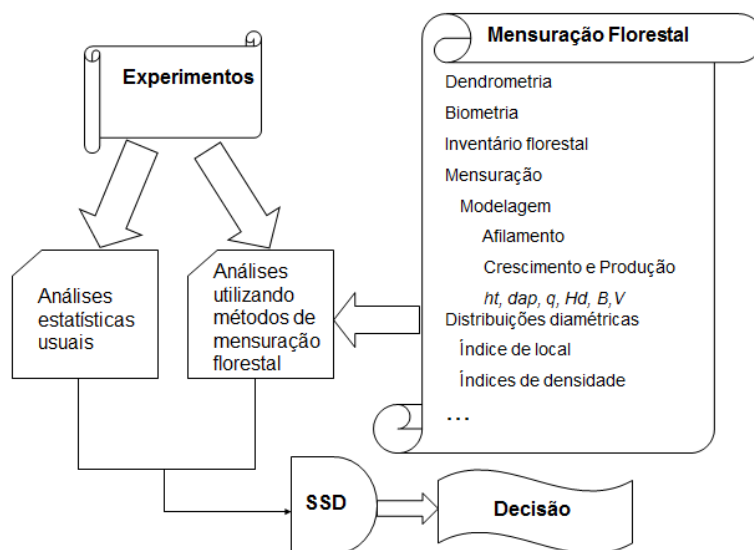


Figura 3: Sistemas de suporte a decisão (SSD) em programas de manejo florestal com base em dados experimentais analisados por estatísticas usuais e por métodos de mensuração florestal.

A análise de dados por meio da regressão permite identificar efeitos significativos entre tratamentos o que não aconteceria, em alguns casos, se os dados fossem analisados através da análise estatística tradicional (ANOVA). Também permite estimar efeito de tratamentos não avaliados originalmente sobre determinada característica. Por exemplo, caso seja estabelecida uma relação entre a aplicação de doses (0, 50, 100, 200 g planta⁻¹) de um determinado nutriente sobre o crescimento de árvores, pode-se estimar o crescimento com a aplicação de 150 g planta⁻¹ (SILVA, 2013).

Assim como na análise de variância, a análise de regressão também tem suas pressuposições, sendo: para qualquer valor de X, existe uma população com distribuição normal; homogeneidade das variâncias; os valores das variáveis independentes X são fixos; as médias dos erros são nulas; os erros são independentes, homocedásticos e com distribuição normal. Recomenda-se fazer a análise de variância da regressão.

Em experimentos cuja estrutura de tratamentos envolve fatores fixos e aleatórios, independentemente da média e do erro e , dependendo do interesse do pesquisador em analisar os efeitos aleatórios, os modelos de efeitos mistos podem ser utilizados para descrever os dados.

Modelo misto é aquele que apresenta tanto fatores de efeitos fixos como aleatórios, além do erro experimental e da constante μ . Esse tipo de modelo apresenta vantagens, como, número de observações para predição dos efeitos aleatórios não precisa ser balanceada, redução do erro padrão residual e gera estimativa mais precisa tanto para o efeito fixo, quanto para o aleatório (CALEGARIO et al., 2005).

A análise da parte aleatória consiste na predição dos efeitos aleatórios, na presença de efeitos fixos, e estimação dos componentes de variância. A análise da parte fixa consiste de estimação e testes de hipóteses sobre funções estimáveis dos efeitos fixos. Em geral, tanto a predição dos efeitos aleatórios quanto a estimação dos efeitos fixos depende da estimação dos componentes de variância, de modo que, o êxito da modelagem está diretamente ligado às estruturas de variâncias e covariâncias das variáveis aleatórias (PERRI; IEMMA, 1999; CALEGARIO et al., 2004).

6.2.1 Tipos de modelos

Modelos de crescimento e produção podem ser constituídos de uma ou mais equações, incluindo uma ou mais variáveis independentes, e é empregado para estimar o crescimento e produção florestal, bases de um sistema de suporte a decisão (CAMPOS; LEITE, 2013). Conforme os autores, de acordo com o nível de resolução, classificam-se em modelos em nível de povoamento, modelos de distribuição por classe de diâmetro e modelos em nível de árvores individuais.

Os modelos de crescimento e produção em nível de povoamento podem ser do tipo $Y=f(I)$, utilizado em compartimentos homogêneos, com tendência de crescimento bem definida, onde não houver variações significativas de densidade e capacidade produtiva; $Y=f(I, S)$ é um modelo em nível de povoamento, do tipo empírico, é estático, não envolve a projeção da densidade e dá informações de um povoamento em condições específicas de manejo, não permitindo variações nos tratamentos, exceto aqueles já contidos nos dados do ajuste e $Y=f(I, S (Hd), B (N \text{ ou } q))$, é um modelo do tipo densidade variável, inclui a variável densidade como parte do sistema de equações, muito útil quando de interesse é o volume (V) por unidade de área, sobretudo em povoamentos submetidos a desbaste e em áreas heterogêneas.

Os modelos de distribuição de diâmetro (MDD) estimam a frequência e o número de árvores por área e classe de diâmetro, em idades atuais e futuras, possibilitando um monitoramento mais detalhado do crescimento e da produção, da estrutura diamétrica de povoamentos florestais. Por serem flexíveis permitem fazer simulações envolvendo práticas silviculturais, como aplicação de desbaste, além de análises econômicas desses povoamentos através da conversão de árvores em multiprodutos, que são bases para o manejo florestal (CAMPOS; TURNBULL, 1981; CAMPOS; LEITE, 2013). Além disso, Araújo Júnior et al. (2013), Binoti et al. (2010; 2011; 2012), Leite et al. (2005; 2006) e Nogueira et al. (2005; 2006) já comprovaram a consistência biológica dos MDD.

De acordo com Campos e Leite (2013) os modelos de árvores individuais são sistemas de equações usadas para estimar o crescimento e produção de povoamentos, usando árvores como unidade de modelagem, em vez da parcela. Portanto, deve haver um controle rigoroso na marcação de árvores e parcelas, coleta de dados, distância entre árvores e identificar idade que ocorre mortalidade de árvores. Tem como vantagem o maior detalhamento da dinâmica e estrutura do povoamento, podendo ser empregado para simular tratamentos silviculturais, como desbaste.

Para sua construção são necessárias informações da mortalidade e do crescimento em altura, diâmetro e tamanho da copa das árvores. O crescimento pode ser estimado através de modelos de predição e projeção. Para modelagem da mortalidade, ou seja, a probabilidade de uma árvore estar viva ou morta em uma determinada idade são usados os índices de competição ou variáveis do povoamento (idade, índice de local, área basal). A mortalidade pode ser regular (competição, fatores genéticos e senescência) e irregular (pragas, incêndios, estresses ambientais e danos mecânicos).

Dentre os modelos processuais, o modelo 3-PG (Physiological Principles in Prediction Growth), proposto por Landsberg e Waring (1997), que se baseia-se em princípios fisiológicos para estimar o crescimento e produção florestal, vem sendo utilizado no Brasil com o objetivo de entender os mecanismos que regem o crescimento dos plantios puros, prever o potencial produtivo para florestas plantadas e em novas áreas ainda não exploradas e, como suporte na tomada de decisão no planejamento estratégico (ALMEIDA et al., 2004a, 2004b, 2010; STAPE et al., 2004; BORGES, 2009; BORGES et al., 2012; LEMOS, 2012).

O modelo tem possibilitado prever o impacto dos fatores ambientais determinantes da produtividade (radiação solar, temperatura, água e nutrientes) e das ações de manejo, sobre o potencial produtivo da espécie florestal e sobre a

sustentabilidade das florestas plantadas, permitindo a quantificação dos riscos associados à produção e aumentando assim a qualidade do processo de tomada de decisão (ALMEIDA et al., 2004a; BORGES, 2009).

6.2.2 Avaliação de modelos

Considerando que a modelagem é um sistema de suporte a decisão, tamanha é a importância de avaliar modelos ajustados antes e durante sua aplicação. Recomenda-se que os dados utilizados para validação de modelos sejam diferentes daqueles originalmente utilizados no ajustamento, porém, com características semelhantes (local e genótipo).

O processo de avaliação deverá ser contínuo buscando verificar discrepâncias entre as estimativas geradas pelo modelo e a verdadeira produção. Além disso, é necessária a atualização do modelo ao longo do tempo com dados de medições, para aumentar sua eficiência.

Soares et al. (1995) e Campos e Leite (2013) citam alguns fatores importantes na avaliação de modelos:

- a) avaliar os modelos do ponto de vista da teoria, da lógica e do realismo biológico;
- b) caracterizar os erros quanto a grandeza, natureza dos resíduos e propagação do erro;
- c) usar estatísticas apropriadas para avaliar a precisão do modelo e seus componentes, padrões, e distribuição dos resíduos e correlações ao longo do tempo entre os componentes;
- d) realizar testes estatísticos para erro de viés, precisão e grau de ajustamento;
- e) identificar quais componentes do modelo têm maior influência no erro de predição;
- f) analisar as propriedades estatísticas de modelo (lineares, não lineares e equações simultâneas), pois, procedimentos no ajuste podem não ser os mesmos e em muitos casos são necessárias correções nas propriedades dos dados, análise dos sinais dos coeficientes do modelo, entre outros.

A qualidade do ajuste da equação de regressão pode ser analisada pelo coeficiente de determinação, coeficiente de determinação ajustado, coeficiente de correlação, erro-padrão residual, coeficiente de variação da regressão, magnitude do intervalo de confiança, bias, raiz quadrada do erro médio, médias das diferenças absolutas e percentuais, teste de identidade de modelo, teste de aderência, realismo biológico, além da análise gráfica dos resíduos da regressão. É importante também

analisar os sinais dos coeficientes da equação e fazer as devidas interpretações. Informações mais detalhadas são encontradas em Pimentel-Gomes (2009), Campos e Leite (2013) e na literatura especializada.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF 2013, ano base 2012**. Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas, Brasília. 148 p.
- ALBRECHT, J. M. F.; SANTOS, A. A.; ARRUDA, T. P. M.; CALDEIRA, S. F.; LEITE, A. M. P.; ALBUQUERQUE, M. C. F. **Manual de produção de sementes de espécies florestais**. Cuiabá: UFMT, 2003. 88 p.
- ALCÂNTARA, B. K. **Caracterização da diversidade genética de teca (*Tectona grandis*) de diferentes procedências usando marcadores microssatélites**. 2009. 92 f. Dissertação (Mestrado em Ciências)-Universidade do Estado de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Quiróz", Piracicaba-SP. 2009.
- ALMEIDA, A. C.; LANDSBERG, J. J.; SANDS, P. J. Parameterisation of 3-PG model for fast-growing *Eucalyptus grandis* plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 193, n. 1-2, p. 179–195, 2004b.
- ALMEIDA, A. C.; LANDSBERG, J. J.; SANDS, P. J.; AMBROGI, M. S.; FONSECA, S.; BARDDAL, S. M.; BERTOLUCCI, F. L. Needs and opportunities for using a process-based productivity model as a practical tool in *Eucalyptus* plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 193, n. 1-2, p. 167–177, 2004a.
- ALMEIDA, A. C.; SIGGINS, A.; BATISTA, T. R.; BEADLE, C.; FONSECA, S.; LOOS, R. Mapping the effect of spatial and temporal variation in climate and soils on *Eucalyptus* plantation production with 3-PG, a process-based growth model. **Forest Ecology and Management**, v. 259, n. 9, p. 1730–1740, 2010.
- ANSARI, S. A.; NARAYANAN, C.; WALI, S. A.; KUMAR, R.; SHUKLA, N.; RAHANGDALE, S. K. ISSR markers for analysis of molecular diversity and genetic structure of Indian teak (*Tectona grandis* L.f.) populations. **Annals of Forest Research**, v. 55, n. 1, p. 11–23, 2012.
- ARAÚJO JÚNIOR, C. A.; LEITE, H. G.; CASTRO, R. V. O.; BINOTI, D. H. B.; ALCÂNTARA, A. E. M.; SILVA BINOTI, M. L. M. Modelagem da distribuição diamétrica de povoamentos de eucalipto utilizando a função Gama. **Cerne**, v. 19, n. 2, p. 307–314, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023: Informação e documentação - Referências - Elaboração**. 2002. 24 p.
- BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2008. 237 p.
- 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-MG. 2009.
- BEZERRA, A. F. **Modelagem do crescimento e da produção de povoamentos de *Tectona grandis* submetidos a desbaste**. 2009. 73 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. 2009.

- BILLINGS, W. D. The environmental complex in relation to plant growth and distribution. **The Quarterly Review of Biology**, v. 27, n. 3, p. 251–265, 1952.
- BINOTI, D. H. B.; SILVA BINOTI, M. L. M.; LEITE, H. G.; SILVA, A. Redução dos custos em inventário de povoamentos equiâneos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 1, p. 125–129, 2013.
- BINOTI, D. H. B.; SILVA BINOTI, M. L. M.; LEITE, H. G.; SILVA, A.; SANTOS, A. C. A. Modelagem da distribuição diamétrica em povoamentos de eucalipto submetidos a desbaste utilizando autómatos celulares. **Revista Árvore**, v. 36, n. 5, p. 931–940, 2012.
- BINOTI, D. H. B.; SILVA BINOTI, M. L. M.; LEITE, H. G.; GARCIA, S. L. R.; CRUZ, J. P. Modelos de distribuição diamétrica para povoamentos desbastados de eucalipto utilizando a função hiperbólica. **Revista Árvore**, v. 35, n. 5, p. 1069–1076, 2011.
- BINOTI, D. H. B.; LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; SILVA, M. L. M.; GARCIA, S. L. R.; CRUZ, J. P. Uso da função Weibull de três parâmetros em um modelo de distribuição diamétrica para plantios de eucalipto submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, v. 34, n. 1, p. 147–156, 2010.
- BORGES, J. S. **Parametrização, calibração e validação do modelo 3-PG para eucalipto na região do cerrado de Minas Gerais**. 2009. 77 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. 2009.
- BORGES, J. S.; NEVES, J. C. L.; LOURENÇO, H. M.; BARROS, N. F.; DIAS, S. C. M. Parameterization of the 3-PG model for eucalypt in the region of Cerrado in Minas Gerais State. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 3, p. 567–578, 2012.
- BRAGA, A. P.; CARVALHO, A. P. L. F.; LUDEMIR, T. B. **Redes neurais artificiais: teoria e aplicações**. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2000. 262 p.
- BURLEY, J.; WOOD, P. J. **Manual sobre investigaciones de especies y procedencias con referencia especial a los tropicos**. Oxford: Universidad de Oxford, 1979. 320 p. (Tropical Forestry Papers, 10 & 10A).
- CALDEIRA, S. F.; OLIVEIRA, D. L. C. Desbaste seletivo em povoamentos de *Tectona grandis* com diferentes idades. **Acta Amazônica**, v. 38, n. 2, p. 223–228, 2008.
- CALEGARIO, N.; DANIELS, R. F.; MAESTRI, R.; NEIVA, R. Desenvolvimento de um modelo linear de efeito misto na estimativa do crescimento e produção de povoamentos clonais. **Cerne, Lavras**, v. 10, n. 1, p. 67–86, 2004.
- CALEGARIO, N.; DANIELS, R. F.; SOUZA, A. L.; MAESTRI, R. Estimativa do crescimento de povoamentos de *Eucalyptus* baseada em modelos lineares em multiníveis de efeito misto. **Revista Árvore**, v. 29, n. 2, p. 251–261, 2005.
- CAMPOS, J. C. C. Principais fatores do meio que afetam o crescimento das árvores. **Floresta**, v. 2, n. 3, p. 45–52, 1970.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 4. ed. Viçosa: UFV, 2013. 407 p.
- CAMPOS, J. C. C.; TURNBULL, K. J. Um sistema para estimar produção por classe de diâmetro e sua aplicação na interpretação do efeito de desbaste. **Revista Árvore**, v. 5, n. 1, p. 1–16, 1981.

- CANTINHO, R. Z.; PONZONI, F. J.; SANTOS, S. B. Estimativas de índice de área foliar de plantios de *Eucalyptus* spp. segundo três alternativas metodológicas. **Cerne**, v. 20, n. 3, p. 485–492, 2014.
- CHAVES, R. A.; REIS, M. G. F.; REIS, G. G.; PEZZOPANE, J. E. M.; XAVIER, A.; MONTE, M. A. Dinâmica de cobertura de dossel de povoamento de clone de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex-Maiden submetidos a desrama artificial e desbaste. **Revista Árvore**, v. 31, n. 6, p. 989–998, 2007.
- CORNELIUS, J. P.; GUERRA, L. J. U. **Introducción al mejoramiento genético, domesticación y genética en la agroforestería y la silvicultura**. Lima: Centro Mundial para la Agroforestería (ICRAF), 2010. 124 p.
- COSTA, R. B.; RESENDE, M. D. V. Melhoramento de espécies alternativas para o Centro Oeste - Teca. In: WORKSHOP SOBRE MELHORAMENTO DE ESPÉCIES FLORESTAIS E PALMÁCEAS NO BRASIL, 1., 2001, Colombo-PR. **Anais...** Colombo: Embrapa Florestas, 2001. p. 153-167.
- COSTA, R. B.; RESENDE, M. D. V.; SILVA, V. S. M. Experimentação e seleção no melhoramento genético de teca (*Tectona grandis* L.f.). **Floresta e Ambiente**, v. 14, n. 1, p. 76–92, 2007.
- CURTIS, R. O.; MARSHALL, D. D. **Permanent-plot procedures for silvicultural and yield research**. Portland: USDA, 2005. 86 p.
- DIAS, A. N. **Um modelo para gerenciamento de plantações de eucalipto submetidas a desbaste**. 2005. 147 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. 2005.
- ELDRIDGE, K.; DAVIDSON, J.; HARWOOD, C.; van WYK, G. **Eucalypt domestication and breeding**. Oxford: Clarendon Press, 1993. 288 p.
- FAO. **Report of the First Session of the FAO Panel of experts on Forest Gene Resources**. 1968. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/006/85704e/85704E01.htm>>. Acesso em: 7 abr. 2015.
- FAO. **The future of teak and the high-grade tropical hardwood sector: planted forests and trees**. Roma: ONU, 2009. 47 p. (Working Paper FP/44E).
- FAPESP. **Código de boas práticas científicas**. São Paulo: PESQUISA FAPESP, 2011. 18 p.
- FAVARE, L. G.; GUERRINI, I. A.; BACKES, C. Níveis crescentes de saturação por bases e desenvolvimento inicial de teca em um latossolo de textura média. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 4, p. 693–702, 2012.
- FERREIRA, L. R.; MACHADO, A. F. L.; FERREIRA, F. A.; TUFFI SANTOS, L. D. **Manejo integrado de plantas daninhas na cultura do eucalipto**. Viçosa: UFV, 2010. 140 p.
- FERREIRA, M.; ARAÚJO, A. J. **Procedimentos e recomendações para testes de procedências**. Curitiba: EMBRAPA/URPFCS, 1981. 28 p.
- FOFANA, I. J.; OFORI, D.; POITEL, M.; VERHAEGEN, A. Diversity and genetic structure of teak (*Tectona grandis* L.f.) in its natural range using DNA microsatellite markers. **New Forests**, v. 37, p. 175–195, 2009.
- FORRESTER, D. I. Growth responses to thinning, pruning and fertiliser application in *Eucalyptus* plantations: A review of their production ecology and interactions. **Forest Ecology and Management**, v. 310, p. 336–347, dez. 2013.

- FORRESTER, D. I.; COLLOPY, J. J.; BEADLE, C. L.; WARREN, C. R.; BAKER, T. G. Effect of thinning, pruning and nitrogen fertiliser application on transpiration, photosynthesis and water-use efficiency in a young *Eucalyptus nitens* plantation. **Forest Ecology and Management**, v. 266, p. 256–300, fev. 2012.
- GARCIA, S. L. R.; LEITE, H. G. **Curso de estatística experimental**. Viçosa-MG, 2006. 411 p. (não publicado).
- GIUSTINA, L. D. **Avaliação da variabilidade genética de genótipos de teca (*Tectona grandis* Linn. f.) por meio de marcadores moleculares**. 2014. 69 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas)-Universidade do Estado de Mato Grosso, Alta Floresta-MT. 2014.
- GONÇALVES, J. L. M.; ALVARES, C. A.; SOUZA, A. H. B. N.; ARTHUR JUNIOR, J. C. Caracterização edafoclimática e manejo de solos das áreas com plantações de eucalipto. In: SCHUMACHER, M. V.; VIERA, M. (Ed.). **Silvicultura do eucalipto no Brasil**. Santa Maria: Editora UFSM, 2015. p. 113–155.
- HAYKIN, S. **Redes neurais: princípios e práticas**. Porto Alegre: Bookman Companhia, 2001. 900 p.
- HUSCH, B. **Planning a forest inventory**. Roma: FAO, 1971. 120 p. (Forestry and Forest Products Studies, 17).
- JAYAMADHAVAN, A.; SUDHAKARA, K.; WAHID, P. A. Methods of leaf sampling in teak (*Tectona grandis*) for nutrient analysis. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 12, n. 2, p. 227–237, 2000.
- LANDSBERG, J. J.; WARING, R. H. A generalised model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance and partitioning. **Forest Ecology and Management**, v. 95, n. 3, p. 209–228, 1997.
- LEAL, F. A.; MIGUEL, E. P.; MATRICARDI, E. A. T.; PEREIRA, R. S. Redes neurais artificiais na estimativa de volume em um plantio de eucalipto em função de fotografias hemisféricas e número de árvores. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 33, n. 2, p. 233–249, 2015.
- LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; DIAS, A. N.; MONTE, M. A. Uso da mensuração florestal em pesquisa e em manejo de povoamentos submetidos a desbaste. In: SEMINÁRIO SOBRE SILVICULTURA EM FLORESTAS PLANTADAS, 3., 2008, Contagem-MG. **Anais...** Contagem: SIF/DEF/UFV, 2008. p. 77-114.
- LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; CAMPOS, J. C. C.; TAKIZAWA, F. H.; RODRIGUES, F. L. Um modelo de distribuição diamétrica para povoamentos de *Tectona grandis* submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, v. 30, n. 1, p. 89–98, 2006.
- LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; CAMPOS, J. C. C.; SOUZA, A. L.; CARVALHO, A. F. Avaliação de um modelo de distribuição diamétrica ajustado para povoamentos de *Eucalyptus* sp. submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, v. 29, n. 2, p. 271–280, 2005.
- LEMOES, C. C. Z. **Aprimoramentos, teste e uso do modelo 3-PG em plantios clonais de *Eucalyptus* no nordeste do Estado de São Paulo**. 2012. 175 f. Tese (Doutorado em Ciências)-Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba-SP. 2012.
- MATRICARDI, W. A. T. **Efeitos dos fatores de solo sobre o desenvolvimento da teca (*Tectona grandis* L.f.) cultivada na grande Cáceres - Mato Grosso**. 1989.135 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Quiróz", Piracicaba-SP. 1989.

- MELLO, J. M.; DINIZ, F. S.; OLIVEIRA, A. D.; SCOLFORO, J. R. S.; ACERBI JÚNIOR, F. W.; THIERSCH, C. R. Métodos de amostragem e geoestatística para estimativa do número de fustes e volume em plantios de *Eucalyptus grandis*. **Floresta**, v. 39, n. 1, p. 157–166, 2009.
- MONTE, M. A.; REIS, M. G. F.; REIS, G. G.; LEITE, H. G.; STOCKS, J. J. Métodos indiretos de estimação da cobertura de dossel em povoamentos de clone de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 6, p. 769–775, 2007.
- MOREIRA, G. B. R. **Diversidade genética e estabelecimento de protocolo para micropropagação de *Tectona grandis***. 2012. 96 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal no Semiárido)-Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba-MG. 2012.
- NARAYANAN, C.; WALI, S. A.; SHUKLA, N.; KUMAR, R.; MANDAI, A. K.; ANSARI, S. A. RAPD and ISSR markers for molecular characterization of teak (*Tectona grandis*) plus trees. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 19, n. 4, p. 218–225, 2007.
- NOGUEIRA, G. S.; LEITE, H. G.; CAMPOS, J. C. C.; TAKIZAWA, F. H.; COUTO, L. 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, 2006.
- NOGUEIRA, G. S.; LEITE, H. G.; CAMPOS, J. C. C.; CARVALHO, A. F.; SOUZA, A. L. Modelo de distribuição diamétrica para povoamentos de *Eucalyptus* sp. submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, v. 29, n. 4, p. 579–589, 2005.
- NOGUEIRA, G. S. **Modelagem do crescimento e da produção de povoamentos de *Eucalyptus* sp. e de *Tectona grandis* submetidos a desbaste**. 2003. 145 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. 2003.
- OLIVEIRA, J. R. V. **Sistema para o cálculo de balanço nutricional e recomendação de calagem e adubação de povoamentos de teca - Nutriteca**. 2003, 76 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. 2003.
- PAIVA, H. N.; LEITE, H. G. Desbastes e desramas em povoamentos de eucalyptus. In: SCHUMACHER, M. V.; VIERA, M. (Ed.). **Silvicultura do eucalipto no Brasil**. Santa Maria: Editora UFSM, 2015. p. 83–112.
- PAIVA, H. N.; JACOVINE, L. A. G.; TRINDADE, C.; RIBEIRO, G. T. **Cultivo de eucalipto: implantação e manejo**. 2. ed. Viçosa-MG: Aprenda Fácil, 2011. 354 p.
- PEDERSON, A. P.; OLESEN, K.; GRAUDAL, L. **Tree improvement at species and provenance level**. Humlebaek: Danida Forest Seed Centre, 1993. 72 p. (Nota de Classe, D-3).
- PELISSARI, A. L.; CALDEIRA, S. F.; SANTOS, V. S.; SANTOS, J. O. P. Correlação espacial dos atributos químicos do solo com o desenvolvimento da teca em Mato Grosso. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 71, p. 247–256, 28 set. 2012.
- PÉREZ, D. **Stand growth scenarios for *Tectona grandis* plantations in Costa Rica**. 2005. 77 p. Academic dissertation (Dissertationes Forestales)-University of Helsinki, Helsinki-FI. 2005.
- PERRI, S. H. V.; IEMMA, A. F. Procedimento “MIXED” do SAS® para análise de modelos mistos. **Scientia Agrícola**, v. 56, n. 4, p. 959–967, 1999.
- PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. São Paulo: FEALQ, 2009. 451 p.

- PITELLI, R. A.; DURIGAN, J. C. Terminologia para períodos de controle e de convivência das plantas daninhas em culturas anuais e bianuais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE HERBICIDAS E PLANTAS DANINHAS, 15., 1984, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBHED, 1984. p. 37.
- RONDON NETO, R. M.; MACEDO, R. L. G.; TSUKAMOTO FILHO, A. A. **Formação de povoamentos florestais com *Tectona grandis* L.f. (teca)**. Lavras: UFLA, 1998. 29 p.
- SCHUMACHER, F. X.; HALL, F. D. S. Logarithmic expression of timber-tree volume. **Journal of Agricultural Research**, v. 47, n. 9, p. 719–734, 1933.
- SCHUUHLI, G. S.; PALUDZSZYN FILHO, E. O cenário da silvicultura de teca e perspectivas para o melhoramento genético. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 63, p. 217–230, 2010.
- SILVA BINOTI, M. L. M. **Emprego de redes neurais artificiais em mensuração e manejo florestal**. 2012. 138 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. 2012.
- SILVA, A. A.; SILVA, J. F.; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, L. R. **Controle de plantas daninhas**. Brasília; Viçosa: ABEAS/UFV, 2004. 229 p.
- SILVA, P. S. L. **Métodos para pesquisas com plantas**. Mossoró: EdUFERSA, 2013. 264 p.
- SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e inventário florestal**. 2. ed. Viçosa-MG: UFV, 2012. 272 p.
- SOARES, P.; TOMÉ, M.; SKOVSGAARD, J. P.; VANCLAY, J. K. Evaluating a growth model for forest management using continuous forest inventory data. **Forest Ecology and Management**, v. 71, n. 3, p. 251–265, 1995.
- STAPE, J. L.; RYAN, M. G.; BINKLEY, D. Testing the utility of the 3-PG model for growth of *Eucalyptus grandis* x *urophylla* with natural and manipulated supplies of water and nutrients. **Forest Ecology and Management**, v. 193, n. 1-2, p. 219–234, 2004.
- TONINI, H.; COSTA, M. C. G.; SCWENGBER, L. A. M. Crescimento da teca (*Tectona grandis*) em reflorestamento na Amazônia Setentrional. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 59, p. 5–14, 2009.
- TOUMEY, J. W.; KORSTIAN, C. F. **Foundations of silviculture: upon and ecological basis**. New York: Jonh Wiley & Sons, 1949. 468 p.
- WRIGHT, J. W. **Genetics of forest tree improvement**. Rome: FAO, p. 228-275. 1962.
- ZEN, S.; YONEZAWA, J. T.; FELDEBERG, J. E. Implantação de florestas no sistema de cultivo mínimo. In: SEMINÁRIO SOBRE CULTIVO MÍNIMO DO SOLO EM FLORESTAS, 1995, Curitiba. **Anais...** Curitiba: IPEF, 1995. p. 65-72.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cultura da teca ainda carece de informações técnicas e científicas sobre a silvicultura da espécie. Estas informações são importantes, pois diminuem o empirismo na escolha de genótipos e locais apropriados ao seu cultivo, na definição de regimes de manejo e no monitoramento do crescimento e produção, que têm sido apontados como responsáveis pela produtividade abaixo do esperado para a cultura no Estado de Mato Grosso.

As características do clima no Estado de Mato Grosso possibilita à adaptação, o crescimento e a produção da espécie. No entanto, fatores fisiográficos e sobretudo, edáficos são mais restritivos ao seu cultivo, podendo ser dentre outros, um dos fatores responsáveis pela produtividade abaixo do esperado para a cultura.

Isso demonstra a necessidade de critérios para a escolha de locais visando implantação de povoamentos de teca. O uso de geotecnologias, como por exemplo, sistemas de informações geográficas (SIG), ferramentas de análise espacial e inteligência artificial são eficientes na identificação do potencial produtivo de um local e na definição de classes de aptidão para a cultura da teca.

Além da escolha do local, o monitoramento do crescimento e da produção dos povoamentos florestais é imprescindível, pois a teca é uma espécie muito responsiva às condições em que é implantada (espaçamento, preparo do solo e fertilização) e às condições de manejo a que é submetida (controle da matocompetição, desrama e desbaste). Isso é importante no gerenciamento florestal, na medida que possibilita o genótipo aproveitar ao máximo o potencial produtivo do local, da mesma forma que o local (se apropriado ao cultivo) possibilita o genótipo a expressar seu máximo potencial produtivo. Além disso, possibilita também a aplicação de práticas silviculturais na época certa, a fim de evitar a estagnação do crescimento, que está diretamente relacionada com as características do local, com o genótipo, com o espaçamento inicial de plantio e com as práticas silviculturais aplicadas.

Contudo, para identificar com maior precisão o potencial produtivo para a cultura da teca em todo o Estado de Mato Grosso há necessidade de informações da produtividade de forma mais abrangente e representativa das condições ambientais. Estas informações devem ser oriundas de experimentos planejados, consistentes e analisados por meio de métodos estatísticos adequados, a fim de produzir resultados confiáveis e com nível científico desejado.