

**SISTEMAS SILVIPASTORIS E RESTAURAÇÃO
ECOLÓGICA COM *Dipteryx alata* Vogel: DO PLANTIO DE
MUDAS EM SOLOS INUNDÁVEIS À MORFOMETRIA DE
ÁRVORES ADULTAS E SELEÇÃO DE MATRIZES**

FELIPE VIEIRA DA CUNHA NETO

Tese apresentada à Universidade do Estado
de Mato Grosso, como parte das exigências
do Programa de Pós-graduação em Ciências
Ambientais para obtenção do título de Doutor.

**CÁCERES
MATO GROSSO, BRASIL
2024**

FELIPE VIEIRA DA CUNHA NETO

**SISTEMAS SILVIPASTORIS E RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA
COM *Dipteryx alata* Vogel: DO PLANTIO DE MUDAS EM SOLOS
INUNDÁVEIS À MORFOMETRIA DE ÁRVORES ADULTAS E
SELEÇÃO DE MATRIZES**

Tese apresentada à Universidade do Estado
de Mato Grosso, como parte das exigências
do Programa de Pós-graduação em Ciências
Ambientais para obtenção do título de Doutor.

Orientadora: Prof. Dra. Solange Kimie Ikeda Castrillon

Co-Orientador: Prof. Dr. Ernandes Sobreira Oliveira Junior

**CÁCERES
MATO GROSSO, BRASIL
2024**

Ficha catalográfica elaborada pela Supervisão de Bibliotecas da UNEMAT Catalogação de
Publicação na Fonte. UNEMAT - Unidade padrão

C972s Cunha Neto, Felipe Vieira.

SISTEMAS SILVIPASTORIS E RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA COM *Dipteryx*
alata Vogel: DO PLANTIO DE MUDAS EM SOLOS INUNDÁVEIS À
MORFOMETRIA DE ÁRVORES ADULTAS E SELEÇÃO DE MATRIZES / Felipe
Vieira Cunha Neto. - Cáceres, 2025.
149f.: il.

Universidade do Estado de Mato Grosso "Carlos Alberto Reyes
Maldonado", Ciências Ambientais/CAC-PPGCA - Cáceres - Doutorado
Acadêmico, Campus Universitário De Cáceres "Jane Vanini".

Orientador: Solange Kimie Ikeda Castrillon.

Coorientador: Ernandes Sobreira Oliveira Junior.

1. Baru. 2. Silvicultura. 3. Recuperação ambiental. 4. Solo
inundável. I. Castrillon, Solange Kimie Ikeda. II. Junior,
Ernandes Sobreira Oliveira. III. Título.

UNEMAT / MTSCB

CDU 502.31

FELIPE VIEIRA DA CUNHA NETO

**SISTEMAS SILVIPASTORIS E RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA
COM *Dipteryx alata* Vogel: DO PLANTIO DE MUDAS EM SOLOS
INUNDÁVEIS À MORFOMETRIA DE ÁRVORES ADULTAS E
SELEÇÃO DE MATRIZES**

Essa tese foi julgada e aprovada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais.

Cáceres, 30 de abril de 2025

Banca examinadora

Dr. Anderson Marques do Amaral
Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT

Dr. Fernando Ferreira de Moraes
Universidade Federal da Paraíba – UFPB

Dr. Josué Ribeiro da Silva Nunes
Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT

Dr. Paulo Cesar Flôres Júnior
Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT

Dra. Solange Kimie Ikeda Castrillon
Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT
(Orientadora)

DEDICATÓRIA

À minha esposa e filhos, aos meus pais e aos produtores rurais, que precisam produzir, assim como precisam restaurar o ambiente degradado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que fizeram parte dessa jornada. Ao IFMT, não apenas pelo apoio financeiro, mas pela experiência profissional proporcionada através das atividades de ensino, pesquisa e extensão. Foi através dessas experiências, que a ideia dessa tese brotou. À UNEMAT, pela rica oportunidade de cursar o doutorado na minha cidade, próximo à minha família, em um curso com profissionais da mais alta expertise e dedicação.

À minha orientadora, Profa. Solange e meu co-orientador, Prof. Ernandes. Foram meus orientadores e parceiros. A todos que se dispuseram a dialogar comigo, contribuindo para o amadurecimento do projeto. Agradeço à toda a equipe do Educare e Lipan, da graduação e da pós-graduação, que me ajudaram nas coletas e nas risadas. Obrigado à Maura, Ana Livia, Greisiele, Charles e todo o pessoal. Muito obrigado à Giseli pela dedicação e competência com que desempenhou suas atividades de iniciação científica.

À equipe de alunos internos do Curso Técnico em Agropecuária do IFMT – Campus Cáceres. João Henrique, Fernando, Arthur e Matheus. Vocês são feras! Igualmente agradeço aos motoristas do IFMT, Ero e Miguel. Foram muitas idas e voltas na área experimental.

Agradeço aos produtores rurais Fábio e Gilmar, que cederam espaço de suas propriedades para realização de parte dos estudos. Não seria possível realizar essa tese sem vocês.

Por fim, aos meu filhos João Felipe e Anabela, meus verdadeiros títulos, e à minha amada esposa Isabel. Vocês foram o meu refúgio e fortaleza nesse processo.

Graças a ti, Senhor! Rei meu e Deus meu!

ÍNDICE

INTRODUÇÃO GERAL	16
Referências	21

CAPÍTULO 1

Crescimento e sobrevivência de *Dipteryx alata* Vogel em solo sujeito à inundação temporária: Aplicações na produção e restauração ecológica

Resumo.....	25
Abstract.....	26
Introdução.....	27
Materiais e métodos.....	31
Resultados.....	39
Discussão.....	45
Conclusões.....	50
Referências.....	51

CAPÍTULO 2

***Dipteryx alata* Vogel pode ser utilizada na restauração e produção em ambientes sujeitos à hipoxia? - Respostas morfológicas e fenológicas de mudas de *Dipteryx alata* Vogel a diferentes níveis de inundação**

Resumo.....	57
Abstract.....	58
Introdução.....	59

Materiais e métodos.....	61
Resultados.....	68
Discussão.....	75
Conclusões.....	81
Referências.....	82

CAPÍTULO 3

Proposta metodológica de seleção de árvores matrizes de espécies nativas, com características desejáveis para sistemas silvipastoris

Resumo.....	87
Abstract.....	88
Introdução.....	89
Materiais e métodos.....	91
Resultados.....	99
Discussão.....	105
Conclusões.....	107
Referências.....	107

CAPÍTULO 4

Morfometria de árvores isoladas de *Dipteryx alata* Vogel em pastagem inundável e não inundável, em povoamento homogêneo, e seleção de matrizes com características desejáveis para sistemas silvipastoris

Resumo.....	111
-------------	-----

Abstract.....	112
Introdução.....	113
Materiais e métodos.....	115
Resultados.....	120
Discussão.....	131
Conclusões.....	137
Referências.....	138
 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	 140

LISTA DE FIGURAS

INTRODUÇÃO

Figura 1 Cenário de arcabouço legal, planos e políticas federais relacionados à promoção da recuperação de áreas degradadas (vegetação nativa e pastagens) e à expansão dos sistemas silvipastoris (integração pecuária – floresta) no Brasil.....18

CAPÍTULO 1

Figura 1 Mudanças de *Dipteryx alata* uma semana após o plantio, em área com lençol freático aflorado (a e b), e aos 20 meses de idade, sem afloramento do lençol (c). 31

Figura 2 Esquema representativo da área de estudo, com destaque para a flutuação do lençol freático e variações do micro relevo, proporcionando zonas de menor ou maior grau de inundação. Em “a” e “b”, no período chuvoso, momentos de lençol freático mais elevado e menos elevado, respectivamente. Em “c”, período seco, a representação do lençol freático rebaixado. 36

Figura 3 Croqui da área experimental, com destaque para o arranjo espacial dos renques, para as parcelas e para os pontos de medição da lâmina d'água ao longo dos renques. 36

Figura 4 Medição da lâmina d'água nos pontos onde a mesma estava aparente (acima da superfície do solo) (a) e nos pontos onde não estava aparente (abaixo da superfície do solo), com abertura de cova (b). 37

Figura 5 Representação dos dois cenários de avaliação adotados, onde o cenário 1 apresenta classes contínuas de lâmina d'água, onde os limites das classes são valores sequenciais (ex: limite inferior do grau de inundação 4 é

+2cm e limite superior do grau de inundação 3 é +1cm). Já o cenário 2, apresenta classes de maior contraste de lâmina d'água, onde os limites das classes não são valores sequenciais (ex: limite inferior do grau de inundação 4` é +3cm e limite superior do grau de inundação 3` é -3 cm). 37

Figura 6 Curvas de crescimento em altura (H) de *Dipteryx alata*, para diferentes graus de inundação, em solo temporariamente inundável, no Bioma Pantanal, Brasil. 39

Figura 7 Médias de altura (H) de *Dipteryx alata* aos 20 meses idade, para diferentes graus de inundação, em solo temporariamente inundável, em dois cenários da avaliação (a e b), no Bioma Pantanal, Brasil. Médias com letras diferentes na coluna, para um mesmo cenário, diferem significativamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). * Cenário 1 apresenta classes de lâmina d'água contínuas e o cenário 2 apresenta classes de maior contraste. ** Não houve diferença significativa para um mesmo cenário de avaliação. 40

Figura 8 Médias de sobrevivência (%) ($\pm$ desvio padrão) de *Dipteryx alata* aos 2, 11 e 20 meses idade, para diferentes graus de inundação, em solo temporariamente inundável, em dois cenários da avaliação (a e b), no Bioma Pantanal, Brasil. Não houve diferença significativa, para um mesmo cenário de avaliação, pelo teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$). * Cenário 1 apresenta classes de lâmina d'água contínuas e o cenário 2 apresenta classes de maior contraste. 42

Figura 9 Histograma de altura (H) de *Dipteryx alata*, aos 20 meses de idade, em solo submetido à inundação temporária, no Bioma Pantanal, Brasil. 43

Figura 10 Curva de crescimento em altura (H) de *Dipteryx alata*, em solo submetido à inundação temporária, no Bioma Pantanal, Brasil. 44

Figura 11 Incremento corrente mensal em altura (ICH), em cm, de *Dipteryx alata* e precipitação (mm), em solo submetido à inundação temporária, no Bioma Pantanal, Brasil. 44

CAPÍTULO 2

Figura 1: Gráfico de dispersão da altura da gema apical e da altura da inserção da primeira folha, das 40 mudas utilizadas nos 5 tratamentos, e a lâmina d'água (10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm e não inundadas) de cada tratamento. A inundação durou 30 dias. 64

Figura 2: Caule de muda de *Dipteryx alata* Vogel seccionado em terço inferior (a), terço médio (b) e terço superior (c), devidamente identificada para análise de visualização de lenticelas a partir de imagem. 66

Figura 3: Trechos de caules de mudas de *Dipteryx alata* Vogel representativos dos valores da escala de visualização adotada: 1 – lenticelas não visíveis ou muito pouco visíveis; 2 – lenticelas pouco visíveis e, 3 – lenticelas bastante visíveis. 66

Figura 4: Índice de visualização de lenticelas (IVL), para mudas de *Dipteryx alata* Vogel, após 30 dias em diferentes níveis de inundação simulada. Houve diferença significativa pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). 69

Figura 5: Número de folhas perdidas, para mudas de *Dipteryx alata* Vogel, após 30 dias de inundação simulada de diferentes níveis de inundação. 70

Figura 6: Perda de área foliar (AF), para mudas de *Dipteryx alata* Vogel, após 30 dias de inundação simulada de diferentes níveis de inundação *Não houve diferença significativa pela ANOVA ($p < 0,05$). 71

Figura 7: Massa seca total (MST), em g, para mudas de *Dipteryx alata* Vogel, após 30 dias de inundação simulada de diferentes níveis de inundação. Valores seguidos de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). *O modelo de regressão foi gerado apenas para os tratamentos de inundação, excluindo-se, portanto, o tratamento sem inundação. 73

Figura 8: Índice de qualidade de Dickson (IQD) para mudas de *Dipteryx alata* Vogel, após 30 dias de inundação simulada de diferentes níveis de inundação. Valores seguidos de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey

($p < 0,05$). *O modelo de regressão foi gerado apenas para os tratamentos de inundação, excluindo-se, portanto, o tratamento sem inundação. 73

Figura 9: Gráfico biplot de análise de componentes principais (ACP) representando diferentes níveis de inundação e as variáveis mensuradas de mudas de *Dipteryx alata* Vogel: índice de visualização de lenticelas do 1º e 2º terço das mudas (IVL1º e IVL2º), perda de área foliar em porcentagem (perda AF(%), massa seca foliar (MSF), da parte aérea (MSPA), de raízes (MSR), total (MST) e índice que qualidade de Dickson (IQD). 74

CAPÍTULO 3

Figura 1: Peso de cada característica conforme sua importância relativa para a seleção de árvores visando a produção comercial de madeira em sistemas silvipastoris, segundo metodologia de Salman et al. (2012). Fonte: (adaptado de Salman et al., 2012) 94

Figura 2: Peso de cada característica conforme sua importância relativa para a seleção de árvores visando a produção em sistemas silvipastoris, segundo a metodologia proposta. 97

Figura 3: Passo a passo para seleção de árvores matrizes de espécies nativas de com características desejáveis para sistemas silvipastoris. Ht = altura total; Hf = comprimento do fuste; DAP = diâmetro à altura do peito; HbCopa = Altura da base da copa; Dc = diâmetro de copa e, ISA = índice de seleção arbórea. 99

Figura 4: Dispersão de altura total (Ht), comprimento do fuste (Hf), diâmetro à altura do peito (DAP), diâmetro de copa (Dc) e comprimento de copa (Cc) para as matrizes selecionadas e para as árvores não selecionadas, em relação à média da população (matrizes + árvores não selecionadas). 104

Figura 5: Análise de Componentes Principais com agrupamento K-means ($k=3$) para as árvores matrizes. 106

Figura 6: Gráfico de barras comparando as variáveis morfométricas entre os clusters. 107

Figura 7: Gráfico de loadings da PCA evidenciando a contribuição de cada variável nos componentes principais. 108

CAPÍTULO 4

Figura 1: Localização das áreas de estudo: pastagem não inundável (Pñi) e inundável (Pi) com árvores isoladas e povoamento homogêneo (PoH) de *Dipteryx alata* Vogel. 117

Figura 2: Variáveis avaliadas em árvores de *Dipteryx alata* Vogel. 118

Figura 3: Matriz de correlação de Spearman para variáveis dendrométricas e morfométricas de árvores de *Dipteryx alata* Vogel isoladas em pastagem não inundável (a), pastagem inundável (b) e em povoamento homogêneo de 25 anos, com espaçamento de 3 x 3 m, não manejado (c), em Cáceres – MT. A cor azul indica correlação negativa e vermelho positiva. 124

Figura 4: Distribuição de diamétrica em classes para árvores de *Dipteryx alata* Vogel isoladas em pastagem não inundável (Pñi), pastagem inundável (Pi) e em povoamento homogêneo de 25 anos, com espaçamento de 3 x 3 m, não manejado (PoH), em Cáceres – MT. 125

Figura 5: Dispersão de altura total (Ht), comprimento do fuste (Hf), diâmetro à altura do peito (DAP), diâmetro de copa (Dc) e comprimento de copa (Cc) para as matrizes selecionadas e para as árvores não selecionadas, em relação à média da população (matrizes + árvores não selecionadas). 129

Figura 6: Mapa da população de *Dipteryx alata* Vogel isolas em pastagem não inundável, no IFMT, em Cáceres – MT. Destaque em amarelo para matrizes com características desejáveis para sistemas silvipastoris. 130

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1

Tabela 1 Características texturais do Plintossolo Argilúvico Distrófico Arênico da área de estudo. 32

Tabela 2 Atributos químicos do Plintossolo Argilúvico Distrófico Arênico da área de estudo. 32

Tabela 3 Estatística descritiva, para a variável altura (H), do conjunto de dados de plantas individuais de *Dipteryx alata*, em solo temporariamente inundável, no Bioma Pantanal, Brasil. 43

Capítulo 2

Tabela 2 Massa seca de raízes (MSR), massa seca de folhas (MSF) e massa seca da parte aérea (MSPA) para mudas de *Dipteryx alata*, após 30 dias de inundação simulada de diferentes níveis de inundação e sem inundação. 72

Capítulo 3

Tabela 1: Peso de cada variável e soma dos pesos das variáveis de Salman et al. (2012), e peso de cada variável correspondente e soma dos pesos das variáveis correspondentes da proposta metodológica. 96

Tabela 2: Classes de valores das variáveis altura total (Ht), comprimento do fuste (Hf), diâmetro à altura do peito (DAP), diâmetro de copa (Dc) e comprimento de copa (Cc), baseadas na média e desvio padrão de cada variável, com os respectivos escores.....98

Tabela 3: Escores das respectivas classes de valores das variáveis altura total (Ht), comprimento do fuste (Hf), diâmetro à altura do peito (DAP), diâmetro de copa (Dc) e comprimento de copa (Cc). 100

Tabela 4: Índice de seleção arbórea (ISA), variáveis dendrométricas e respectivos escores para árvores de *Dipteryx alata* Vogel isoladas em pastagem inundável, em Cáceres – MT. As árvores estão em ordem decrescente de ISA e os valores em negrito indicam as árvores selecionadas como matrizes. Ht = altura total; Esc. = escore; Hf = comprimento do fuste; DAP = diâmetro à altura do peito; Dc = diâmetro de copa; Cc = comprimento de copa e, ^M = matriz. 101

Tabela 5: Matriz de correlação de Person para variáveis dendrométricas e índice de seleção arbórea (ISA) de árvores de *Dipteryx alata* Vogel isoladas em pastagem inundável, em Cáceres – MT. 105

Capítulo 4

Tabela 1: Classes de valores das variáveis altura total (Ht), comprimento do fuste (Hf), diâmetro à altura do peito (DAP), diâmetro de copa (Dc) e comprimento de copa (Cc), baseadas na média e desvio padrão de cada variável, com os respectivos escores. 119

Tabela 2: Variáveis dendrométricas de árvores inequianas de *Dipteryx alata* isoladas em pastagem não inundável, pastagem inundável e em povoamento homogêneo de 25 anos, com espaçamento de 3 x 3 m, não manejado, em Cáceres – MT. Ht – altura total; Hf; comprimento do fuste; *Hbc – altura da base da copa; Dc – diâmetro de copa e, DAP – diâmetro à altura do peito. 121

Tabela 3: Atributos morfométricos de árvores inequianas de *Dipteryx alata* isoladas em pastagem não inundável, pastagem inundável e em povoamento homogêneo de 25 anos, com espaçamento de 3 x 3 m, não manejado, em Cáceres – MT. 123

Tabela 4: Índice de seleção arbórea (ISA), variáveis dendrométricas e respectivos escores para árvores de *Dipteryx alata* Vogel isoladas em pastagem não inundável, no IFMT, em Cáceres – MT. As árvores estão em ordem decrescente de ISA. Ht = altura total; Esc. = escore; Hf = comprimento do fuste;

DAP = diâmetro à altura do peito; Dc = diâmetro de copa; Cc = comprimento de copa e, ^M = matriz. 125

Tabela 5: Menores distâncias entre as 30 matrizes de *Dipteryx alata* Vogel, com características desejáveis para sistemas silvipastoris, isoladas em pastagem não inundável, no IFMT, em Cáceres – MT. As árvores estão em ordem decrescente de distância (m). 131

LISTA DE QUADROS

Introdução

Quadro 1: Variáveis utilizadas no método de Salman et al. (2012) e suas correspondentes, utilizadas na presente proposta metodológica, conforme as respectivas categorias das variáveis. 89

Capítulo 2

Quadro 1: Respostas fisiológicas e bioquímicas de mudas de *Dipteryx alata* Vogel ao estresse provocado por inundação. 77

Capítulo 3

Quadro 1: Variáveis utilizadas no método de Salman et al. (2012) e suas correspondentes, utilizadas na presente proposta metodológica, conforme as respectivas categorias das variáveis.

RESUMO GERAL

Cunha Neto, Felipe Vieira da. **Sistemas silvipastoris e restauração ecológica com *Dipteryx alata* Vogel: do plantio de mudas em solos inundáveis à morfometria de árvores adultas e seleção de matrizes**. Cáceres: UNEMAT, 2025. 149 p. (Tese – Doutorado em Ciências Ambientais).

Os biomas Cerrado (a savana brasileira) e Pantanal vêm sofrendo intensos distúrbios antrópicos e naturais, o que tem gerado significativa degradação. As alterações do clima põem em risco a biodiversidade desses biomas, assim como põe em risco atividades humanas fundamentais, necessária para subsistência humana, como a agricultura e pecuária. No entanto, essas mesmas atividades, têm contribuído para a alteração do clima. Desmatamentos e queimadas, de forma legal ou ilegal, realizadas como instrumento de manejo e de abertura de novas áreas para produção, contribuem para a emissão de GEE. A pecuária é uma importante emissora de GEE no mundo, contribuindo de maneira significativa para as mudanças climáticas. Nesse cenário, ações de restauração no Cerrado e Pantanal, assim como a adoção de sistemas de produção regenerativos, como os silvipastoris, que promovam a segurança alimentar, aumento da produtividade, da renda e do sequestro de carbono são urgentes. Devido à aceleração das mudanças climáticas, é fundamental compreender as respostas das plantas aos estresses bióticos, principalmente no que diz respeito aos eventos climáticos extremos, como inundações. As inundações são um filtro ambiental que limita o estabelecimento de árvores em savanas inundáveis. Quanto à produção, a restrição de uso dos solos, imposta por inundações temporárias, faz com que a produção seja limitada à pecuária em algumas dessas áreas temporariamente inundáveis. Para tanto, é necessário selecionar espécies arbóreas com potencial de uso na restauração ecológica e produção em solos temporariamente inundáveis. Nesse sentido, a *Dipteryx alata* (baru ou cumbaru) é uma espécie arbórea que merece ser estudada. Apesar de ser uma árvore típica de solos secos, observamos, no campo, a ocorrência de indivíduos adultos em pastagem inundável. O baru tem ampla ocorrência no território nacional, além de Peru e Bolívia. É uma espécie de relevância para a bioeconomia do Pantanal e Cerrado, sendo fonte de renda complementar para muitas famílias, que comercializam a castanha de baru, obtida de forma extrativista. A árvore é promissora para uso em sistemas silvipastoris. Apesar de ser uma espécie típica de solos secos, também tem potencial de uso em atividades de restauração e produção em áreas temporariamente inundadas. Neste cenário, esta tese desenvolveu uma série de estudos visando desenvolver conhecimento para proporcionar o uso do baru para a restauração em solos inundáveis e para a arborização de pastagens temporariamente inundáveis e não inundáveis, possibilitando a formação de sistemas silvipastoris. A tese é apresentada em 4 capítulos, envolvendo realização de estudos no campo e em viveiro. Foram realizados estudos de silvicultura inicial do baru em solo inundável

(Capítulo 1), de simulação de diferentes níveis de inundação em tanques (Capítulo 2), desenvolvimento de metodologia para seleção de matrizes (Capítulo 3), estudos de morfometria de árvores isoladas em pastagem inundável, não inundável e em povoamento homogêneo, além de seleção de matrizes com características desejáveis para sistemas silvipastoris (Capítulo 4). A tese tem, portanto, uma abordagem ampla, multi e interdisciplinar. Os resultados são aplicáveis às atividades de restauração de ecossistemas e de produção, com foco na produção silvipastoril.

Palavras-chave: Baru; Silvipastoril; Recuperação ambiental, Solo inundável

GENERAL ABSTRACT

Cunha Neto, Felipe Vieira da. **Silvopastoral systems and ecological restoration with *Dipteryx alata* Vogel: from seedling planting in floodable soils to morphometry of adult trees and matrix selection**. Cáceres: UNEMAT, 2025. 149 p. (Theisis – Doctorate in Environmental Sciences).

The Cerrado (the Brazilian savanna) and Pantanal biomes have been undergoing intense anthropogenic and natural disturbances, leading to significant degradation. Climate change threatens the biodiversity of these biomes, as well as critical human activities necessary for human subsistence, such as agriculture and livestock farming. However, these very activities have also contributed to climate change. Deforestation and wildfires, whether legal or illegal, carried out as tools for management and opening new areas for production, contribute to the emission of greenhouse gases (GHGs). Livestock farming is a significant emitter of GHGs globally, contributing substantially to climate change. In this context, restoration actions in the Cerrado and Pantanal, as well as the adoption of regenerative production systems, such as silvopastoral systems, which promote food security, increased productivity, income, and carbon sequestration, are urgent. Due to the acceleration of climate change, it is crucial to understand how plants respond to biotic stresses, especially concerning extreme weather events such as flooding. Flooding acts as an environmental filter that limits the establishment of trees in floodable savannas. Regarding production, the restriction of land use imposed by temporary flooding means that production is limited to livestock farming in some of these temporarily flooded areas. For this reason, it is necessary to select tree species with potential for use in ecological restoration and production in temporarily flooded soils. In this sense, *Dipteryx alata* (baru or cumbaru) is a tree species that deserves further study. Although it is typically a tree of dry soils, we have observed the occurrence of adult individuals in floodable pastures. The baru has a wide distribution across the national territory, as well as in Peru and Bolivia. It is a species of relevance to the bioeconomy of the Pantanal and Cerrado, serving as a supplementary source of income for many families who commercially harvest the baru nuts in an extractive manner. The tree shows promise for use in silvopastoral systems. Although it is a species typical of dry soils, it also has potential for use in restoration activities and production in temporarily flooded areas. In this context, this thesis developed a series of studies aimed at generating knowledge to enable the use of the baru for restoration in floodable soils and for the greening of temporarily flooded and non-flooded pastures, facilitating the formation of silvopastoral systems. This thesis is presented in four chapters, involving field and nursery studies. Studies were conducted on the initial silviculture of the baru in floodable soils (Chapter 1), simulation of different flooding levels in tanks (Chapter 2), development of a

methodology for selecting matrices (Chapter 3), morphometric studies of isolated trees in floodable, non-floodable pastures, and in homogeneous stands, as well as selection of matrices with desirable characteristics for silvopastoral systems (Chapter 4). Therefore, the thesis adopts a broad, multi-disciplinary, and interdisciplinary approach. The results are applicable to ecosystem restoration and production activities, with a focus on silvopastoral production.

Key words: Baru, Floodable soil, Silvopastoral; Environmental recovery

INTRODUÇÃO GERAL

Os biomas Cerrado (a savana brasileira) e Pantanal vêm sofrendo intensos distúrbios antrópicos e naturais, o que tem gerado intensa degradação. Importante salientar, porém, que os próprios distúrbios naturais têm tido considerável influência antrópica, uma vez que o clima da Terra inteira tem sido afetado pelas atividades do ser humano, especialmente devido às elevadas emissões de gases de efeito estufa (GEE). Para muitos, estamos no período do antropoceno.

Essa expressão foi utilizada pela primeira vez, de forma informal, na década de 1980, pelo paleoecologista Eugene Stoermer. O termo é utilizado para designar a presente era geológica, em que as características do planeta, como o clima, são predominantemente influenciadas pelo ser humano, em decorrência das significativas alterações que nossas atividades vêm causando sobre o planeta. Em 2000, Crutzen e Stoermer (2000) avançaram em sua hipótese e deram notoriedade acadêmica ao termo (Nixon et al., 2019). Estamos vivenciando, portanto, as mudanças climáticas, que afetam os biomas Cerrado e Pantanal.

O desenvolvimento dos distintos biomas, ou dos domínios fitogeográficos, do planeta Terra, se deu ao longo de milhares de anos, em um processo evolutivo, ao longo de eras geológicas, sob forte influência de padrões climáticos, que contribuíram para a seleção de espécies, organização de comunidades, relações ecológicas e formações vegetais.

Desta forma, as alterações do clima na região do Cerrado e Pantanal põe em risco a biodiversidade desses biomas, assim como põe em risco atividades humanas fundamentais, necessária para subsistência humana, como a agricultura e pecuária, das quais dependem milhões de pessoas. No entanto, essas mesmas atividades, da maneira como têm sido desenvolvidas, têm contribuído para a alteração do clima. Desmatamentos e queimadas, seja de forma legal ou ilegal, realizadas como instrumento de manejo e de abertura de novas áreas para produção, contribuem para a emissão de GEE. De acordo com Reisinger e Clark (2018) a pecuária é uma importante emissora de GEE no

mundo, contribuindo de maneira significativa para as mudanças climáticas. No Brasil, em 2020, a agropecuária foi responsável por 28,5% das emissões nacionais. Desse total, apenas a fermentação entérica (produção de CH₄, expelido pelo arrote do boi), contribuiu com 57,0% das emissões (Brasil, 2022).

Diante da urgência ambiental na qual a humanidade se encontra, a sociedade se vê diante da necessidade de empenhar esforços para reverter a degradação ambiental, mitigar e se adaptar às mudanças do clima. Nesse sentido, em 2015, a Organização das Nações Unidas (ONU) lançou os objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS), que são um conjunto de proposições para “acabar com a pobreza, proteger o meio ambiente e o clima” (Brasil, 2025). A ONU declarou a atual década (2021 a 2030), como a Década da ONU da Restauração de Ecossistemas (Brasil, 2021), que coincide com o prazo final para alcançar os ODS (Decade on Restoration, 2025), visando catalisar ações de restauração no mundo inteiro (Brasil, 2021).

Aliado a essas diretrizes e a acordos internacionais firmados pelo Brasil, relacionados à restauração de ecossistemas e redução de emissão de GEE, o país tem elaborado políticas e programas para promover a recuperação de áreas degradadas (vegetação nativa e pastagens) e a expansão dos sistemas de produção agropecuários integrados ao cultivo de árvores no Brasil, como os sistemas silvipastoris (integração pecuária – floresta).

Dentre essas políticas e programas, podemos mencionar a Política Nacional de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) (Lei nº 12.805 / 2013) (Brasil, 2013), a Política Nacional para Recuperação da Vegetação Nativa - PROVEG (Decreto nº 8.872 / 2017) (Brasil, 2017a), o Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa – PLANAVEG (Portaria nº 230 / 2017) (Brasil, 2017b) e o Plano Nacional de Conversão de Pastagens Degradadas em Sistemas de Produção Agropecuários e Florestas Sustentáveis - PNCPD) (Decreto nº 11.815 /2023) (Brasil, 2023), dentre outros instrumentos legais (Figura 1).

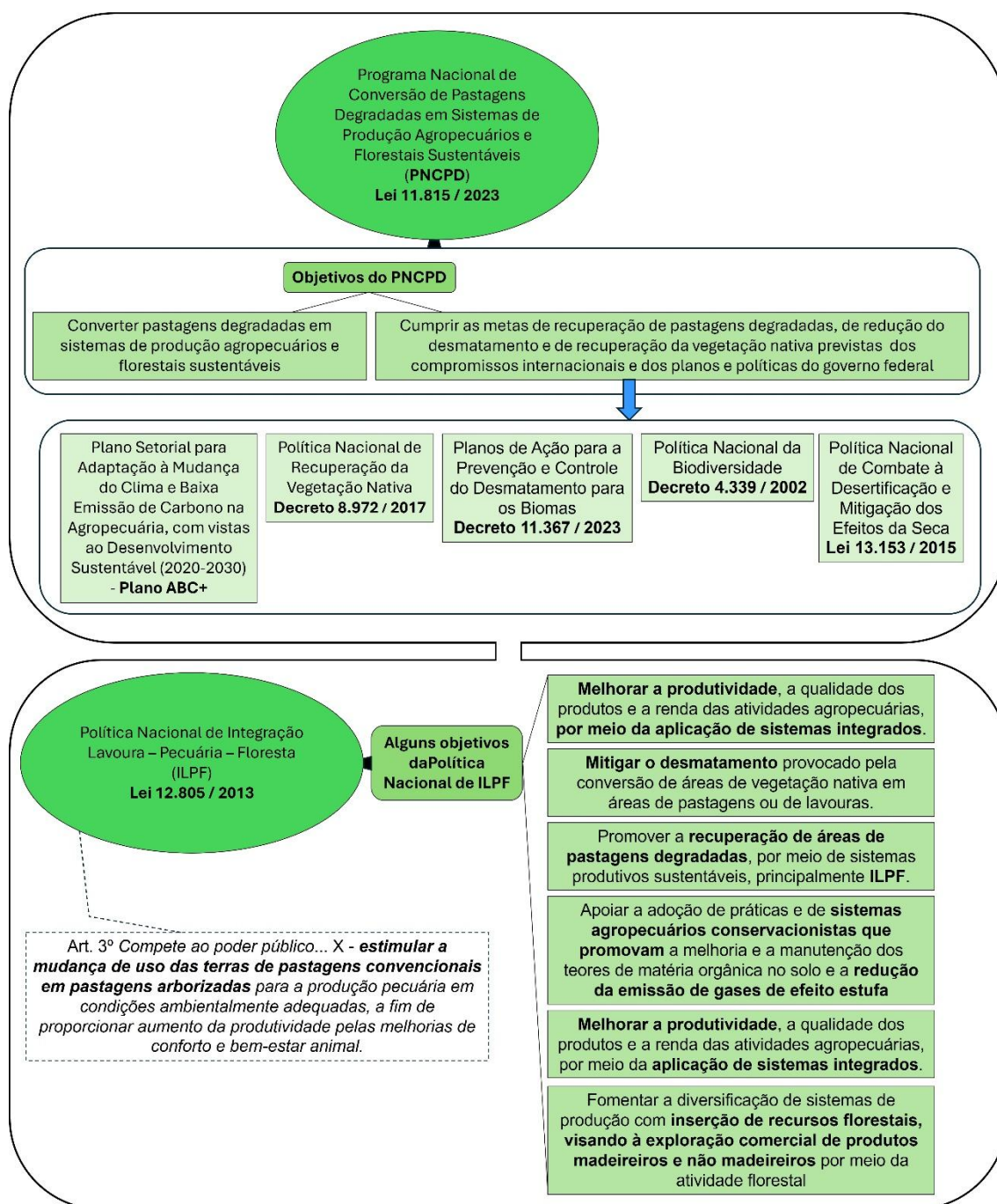


Figura 1: Cenário de arcabouço legal, planos e políticas federais relacionados à promoção da recuperação de áreas degradadas (vegetação nativa e pastagens) e à expansão dos sistemas silvipastoris (integração pecuária – floresta) no Brasil.

Ações de restauração no Cerrado e Pantanal, assim como a adoção de sistemas de produção regenerativos, como os silvipastoris, que promovam a segurança alimentar, aumento da produtividade, da renda e do sequestro de carbono são urgentes.

Devido à aceleração das mudanças climáticas, é fundamental compreender as respostas das plantas aos estresses bióticos (Saleem et al., 2024), principalmente no que diz respeito aos eventos climáticos extremos, como inundações. As inundações são um filtro ambiental que limita o estabelecimento de árvores em savanas inundáveis (Villalobos-Vega et al., 2014, Leite et al., 2018 e Ribeiro et al., 2021). Desta forma, para reduzir os riscos de insucesso das ações de restauração, frente aos eventos climáticos extremos, é importante a seleção adequada das espécies (Zabin et al., 2022).

Quanto à produção, a restrição de uso dos solos, imposta por inundações temporárias, faz com que a produção seja limitada à pecuária em algumas dessas áreas temporariamente alagáveis (Pozer e Nogueira, 2004). No entanto, o desenvolvimento de sistemas silvipastoris é uma opção promissora de uso múltiplo sustentável dessas áreas (Martínez et al., 2010 e Paixão et al., 2019). Para tanto, é necessário selecionar espécies arbóreas com potencial de produção em solos temporariamente inundáveis.

E por que devemos buscar espécies com potencial de produção? Há árvores que podem se desenvolver em solos sujeitos à inundação e desempenhar uma função ambiental em um sistema silvipastoril, como melhoria da ambiência animal, incremento da ciclagem de nutrientes e sequestro de carbono. No entanto, visando otimizar o uso da terra e a diversificação da produção, é ainda mais benéfico para o produtor rural arborizar o pasto com árvores que possam gerar um produto comercializável (fruto, resina ou madeira), além de desempenhar funções ambientais.

Nesse sentido, a *Dipteryx alata* (baru ou cumbaru) é uma espécie arbórea que merece ser estudada. Apesar de ser uma árvore típica de solos secos, observamos, no campo, a ocorrência de indivíduos adultos em pastagem inundável.

O baru tem ampla ocorrência no território nacional, abrangendo a região Norte, Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste (Carvalho et al., 2020), além de outros países, como Peru e Bolívia (Pérez-Cruz e Villarroel, 2020). É uma espécie de relevância para a bioeconomia do Pantanal e Cerrado, sendo fonte de renda

complementar para muitas famílias, que comercializam a castanha de baru, obtida de forma extrativista (Melo et al., 2017; Magalhães, 2019). Lima et al. (2013) e Santos et al. (2024) apontam o baru como uma espécie promissora para sistemas silvipastoris. Para Santos et al. (2024) “a confluência de estratégias tradicionais e inovações tecnológicas na exploração do baru apresenta um caminho promissor para atender aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, assegurando a sobrevivência da espécie e a continuidade das práticas culturais intrínsecas às comunidades agroextrativistas”.

Apesar de ser uma espécie típica de solos secos, Linné et al. (2021) e Moraes et al. (2021), indicam que o baru tem potencial de uso em atividades de restauração em áreas temporariamente inundadas.

Neste cenário, esta tese desenvolveu uma série de estudos visando desenvolver conhecimento para proporcionar o uso do baru para a restauração em solos inundáveis e para a arborização de pastagens temporariamente inundáveis e não inundáveis, possibilitando a formação de sistemas silvipastoris. O trabalho abrangeu os objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS) 2 (Fome Zero e Agricultura sustentável), 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima) e 15 (Vida Terrestre).

A tese é apresentada em 4 capítulos (artigos). O primeiro, já publicado com o título **Crescimento e sobrevivência de *Dipteryx alata* Vogel em solo sujeito à inundação temporária: Aplicações na produção e restauração ecológica** (Cunha Neto et al., 2024). O objetivo deste capítulo foi analisar o desempenho silvicultural inicial de baru em solo sujeito à inundação temporária e avaliar a influência do grau de inundação sobre o crescimento e a sobrevivência das plantas. O experimento foi conduzido no campo.

O segundo capítulo é o ***Dipteryx alata* Vogel pode ser utilizada na restauração e produção em ambientes sujeitos à hipóxia? - Respostas morfológicas e fenológicas de mudas de *Dipteryx alata* Vogel a diferentes níveis de inundação**. O objetivo deste capítulo foi avaliar a sobrevivência e as respostas morfológicas de mudas de baru sob diferentes níveis de inundação, em ambiente controlado.

O terceiro capítulo é apresentado sob o título **Proposta metodológica de seleção de árvores matrizes de espécies nativas, com características desejáveis para sistemas silvipastoris**. O objetivo foi desenvolver uma metodologia de seleção de matrizes florestais nativas, com características propícias para sistemas silvipastoris, visando subsidiar o desenvolvimento de programas de melhoramento de espécies arbóreas nativas, com foco em sistemas de integração. O método proposto é uma importante contribuição para a fase de pré-melhoramento, podendo ser aplicado em populações base. A metodologia foi validada, aplicando-a a uma população de 75 árvore de cumbaru e utilizada do capítulo seguinte.

O quarto capítulo foi intitulado **Morfometria de árvores isoladas de *Dipteryx alata* Vogel em pastagem inundável e não inundável, em povoamento homogêneo, e seleção de matrizes com características desejáveis para sistemas silvipastoris**. (a) avaliar as características morfométricas de árvores isoladas de baru em pastagem sujeita à inundação temporária e pastagem sem inundação, visando subsidiar o uso e manejo da espécie; (b) avaliar as relações alométricas dos atributos morfométricos entre si e com o diâmetro à altura do peito; (c) Selecionar e mapear árvores matrizes de baru com características desejáveis para sistemas silvipastoris, possibilitando a coleta de sementes e produção de mudas de melhor qualidade genética potencial, além de possibilitar a produção de clones para realização de futuros testes de progênes, dando início a um programa de melhoramento da espécie.

Referências

- BRASIL. Lei n. 12.805, de 29 de abril de 2013. Institui a Política Nacional de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta e altera a Lei n. 8.171, de 17 de janeiro de 1991. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 1, 30 abr. 2013. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2013/Lei/L12805.htm. Acesso em: 16 jan. 2025.
- BRASIL. Decreto n. 8.972, de 23 de janeiro de 2017. Institui a Política Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 3, 24 jan. 2017a. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/decreto/D8972.htm. Acesso em: 16 jan. 2025.

BRASIL. **Planaveg: Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa**. 1. ed. Brasília, DF: MMA, 2017b. E-book. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/servicosambientais/ecossistemas-1/conservacao-1/politica-nacional-derecuperacao-da-vegetacaonativa/planaveg_plano_nacional_recuperacao_vegetacao_nativa.pdf. Acesso em: 29 jul. 2022.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. Coordenação Geral do Clima. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. 5. ed. Brasília, DF: MCTIC, 2020.

BRASIL. Decreto n. 11.815, de 05 de dezembro de 2023. Institui o Programa Nacional de Conversão de Pastagens Degradadas em Sistemas de Produção Agropecuários e Florestais Sustentáveis e o seu Comitê Gestor Interministerial. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 2, 6 dez. 2023. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/decreto/d11815.htm. Acesso em: 16 jan. 2025.

CARVALHO, C. S.; LIMA, H. C.; CARDOSO, D. B. O. S. **Dipteryx in Flora do Brasil 2020**. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB29628>. Acesso em: 8 nov. 2021.

CUNHA NETO, F. V. da; CARVALHO, A. B. de M.; VALENTIM, S. M. S.; SOUSA, J. B. de; OLIVEIRA JUNIOR, E. S.; CASTRILLON, S. K. I. Crescimento e sobrevivência de *Dipteryx alata* Vogel em solo sujeito à inundação temporária: Aplicações na produção e restauração ecológica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 17, n. 4, p. 2315-2331, 2024.

LEITE, M. B.; XAVIER, R. O.; OLIVEIRA, P. T. S.; SILVA, F. K. G.; SILVA MATOS, D. M. Groundwater depth as a constraint on the woody cover in a Neotropical Savanna. **Plant and Soil**, v. 426, p. 1-15, 2018.

LIMA, P. R.; POTT, A.; SCIASCIO, J. L. Espécies lenhosas nativas com potencial de uso em sistema silvipastoril em Mato Grosso do Sul. **Revista Agrogeoambiental**, v. 5, p. 67-78, 2013.

LINNÉ, J. A.; JESUS, M. V.; LIMA, V. T.; REIS, L. C.; DRESCH, D. M.; SCALON, S. P. Q.; SANTOS, C. C. Effects of shading on growth and photosynthetic metabolism in *Dipteryx alata* Vogel seedlings under flooding. **Brazilian Journal of Botany**, v. 44, p. 629-638, 2021.

MAGALHÃES, R. M. A sustainability analysis of the exploitation of the baru almond (*Dipteryx alata* Vogel) in the Brazilian Savanna. **Sustainability in Debate**, v. 10, p. 85-95, 2019.

MARTÍNEZ, G. B.; MOURÃO JUNIOR, M.; BRIENZA JUNIOR, S. Seleção de ideótipos de espécies florestais de múltiplo uso em planícies fluviais do Baixo Amazonas, Pará. **Acta Amazonica**, v. 40, p. 65-74, 2010.

MELO, S. A. B. X. de; SILVA, F. S. da; MELO, A. X. de. Aspectos socioeconômico dos agricultores familiares extrativistas do cumbaru no município de Poconé-

Pantanal Mato-Grossense. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 8, p. 62-73, 2017.

MORAIS, J. F.; LIMA, J. B. de; SILVA, F. H. B. da; OLIVEIRA, P. C. de. Da Semente à Plântula: Fases Iniciais de *Dipteryx Alata* Vogel (Fabaceae) Diferem na Tolerância ao alagamento. **Biodiversidade**, v. 20, p. 43-53, 2021.

NIXON, R. *et al.* **The Anthropocene**. 2019.

PAIXÃO, E.; DAMASCENO-JUNIOR, G. A.; POTT, A.; OLIVEIRA, A. K. M.; SUAREZ, Y. R. Buscando Soluções Sustentáveis para Áreas Úmidas Savânicas Brasileiras Via Uso Múltiplo. **Biodiversidade Brasileira**, v. 9, p. 1-11, 2019.

PÉREZ-CRUZ, C. A.; VILLARROEL, D. Spatial distribution model of the almendra chiquitana (*Dipteryx alata* Vogel, Fabaceae) in Bolivia. **Ecología en Bolivia**, v. 55, p. 60-172, 2020.

POZER, C. G.; NOGUEIRA, F. Flooded native pastures of the northern region of the Pantanal of Mato Grosso: biomass and primary productivity variations. **Brazilian Journal of Biology**, v. 64, p. 859–866, 2004.

REISINGER, A.; CLARK, H. How much do direct livestock emissions actually contribute to global warming? **Global Change Biology**, v. 24, n. 4, p. 1749-1761, 2018.

RIBEIRO, J. W. F.; GONÇALO, R. R.; KOLB, R. M.; DENHAM, A. Waterlogging as an environmental filter to tree recruitment in tropical wet grasslands. **Australian Journal of Botany**, v. 69, n. 8, p. 543-553, 2021.

SALEEM, M. H.; MFARREJ, M. F. B.; KHAN, K. A.; ERCISLI, S.; ELSHARKAWY, M. M.; FAHAD, S. Advances in Physiochemical and Molecular Mechanisms of Abiotic Stress Tolerance in Plants. **Journal of Crop Health**, p. 1-15, 2024.

SANTOS, F. M.; MAGALHÃES, H. F.; LUCENA, C. M. de. Mudanças no uso da terra e seus impactos na conservação de *Dipteryx alata* Vog. no corredor extrativista do Cerrado em Mato Grosso do Sul, Brasil: uma revisão crítica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 17, n. 5, p. 3945-3959, 2024.

VILLALOBOS-VEGA, R.; SALAZAR, A.; MIRALLES-WILHELM, F.; HARIDASAN, M.; FRANCO, A. C.; GOLDSTEIN, G. Do groundwater dynamics drive spatial patterns of tree density and diversity in Neotropical savannas? **Journal of Vegetation Science**, v. 25, n. 6, p. 1465-1473, 2014.

ZABIN, C. J.; JURGENS, L. J.; BIBLE, J. M.; PATTEN, M. V.; CHANG, A. L.; GROSHOLZ, E. D.; BOYER, K. E. Increasing the resilience of ecological restoration to extreme climatic events. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 20, n. 5, p. 310-318, 2022.

Capítulo 1

Crescimento e sobrevivência de *Dipteryx alata* Vogel em solo sujeito à inundação temporária: Aplicações na produção e restauração ecológica

Publicado como:

Cunha Neto, F. V. da, Miranda Carvalho, A. B. de, Valentim, S. M. S., de Sousa, J. B., Junior, E. S. O., & Ikeda-Castrillon, S. K. (2024). Crescimento e sobrevivência de *Dipteryx alata* Vogel em solo sujeito à inundação temporária: Aplicações na produção e restauração ecológica. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 17(4), 2315-2331. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v17.4.p2315-2331>

A cópia desta obra é certificada pela Creative Commons Attribution License (CC BY 4.0), e não infringe os dispositivos da Lei nº 9610/98]

Resumo

A inundação de solos é uma condição que limita o estabelecimento de espécies arbóreas e a produção florestal. Uma espécie florestal potencial nesse cenário é a *Dipteryx alata* (baru). O objetivo do trabalho foi analisar o crescimento e a sobrevivência da espécie em solo sujeito à inundação temporária, e avaliar a influência do grau de inundação do solo sobre essas variáveis. Os tratamentos foram quatro classes de lâmina d'água, correspondendo a 4 graus de inundação. Dois cenários foram considerados para a avaliação. Para o cenário 1 foram consideradas classes contínuas de graus de inundação. Já para o cenário 2, foram consideradas classes de maior contraste, com maior diferenciação entre si. Os dados de sobrevivência, altura (H) e diâmetro ao nível do solo (DNS) foram coletados até os 20 meses. A sobrevivência foi elevada, até 84%, e apresentou tendência de menores valores conforme o aumento do grau de inundação. Apesar disso, não houve diferença significativa pelo teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$). Nossos resultados demonstraram que quando a planta é submetida a graus de inundação mais intensos, apresentam menores alturas (46,4 cm; $\pm 13,5$ cm) ($p < 0,05$). O DNS não apresentou diferença significativa em nenhum dos cenários de avaliação. Concluiu-se que a espécie se estabelece em solo temporariamente inundável e que o grau de inundação influencia o crescimento do baru (quanto maior a intensidade de inundação, menor é o crescimento em H). Além disso, a planta tem potencial de uso em sistemas silvipastoris e na restauração ecológica em áreas sujeitas à inundação temporária.

Palavras-chave: Baru; Áreas úmidas; Silvipastoril; Solo inundável; Pantanal

Abstract

Soil flooding is a condition that impairs the establishment of tree species and limits forest production. A potential forest species in this scenario is *Dipteryx alata* (baru). The objective of this study was to analyze the growth and survival of the species in soil subjected to temporary flooding, and to evaluate the influence of the degree of soil flooding on these variables. The treatments were four water depth classes, corresponding to 4 degrees of flooding. Two scenarios were considered for the evaluation. For scenario 1, continuous classes of inundation degrees were considered. For scenario 2, classes with greater contrast were considered, with a greater degree of differentiation between them. Survival, height (H) and diameter at ground level (DNS) data were collected up to 20 months. Survival was high, up to 84%, and showed a tendency towards lower values as the level of flooding increased. Despite this, there was no significant difference by the Kruskal-Wallis test ($p < 0.05$). Our results showed that when the plant is subjected to more intense degrees of flooding, they have lower heights (46.4 cm; ± 13.5 cm) ($p < 0.05$). DNS showed no significant difference in any of the assessment scenarios. We concluded that the species establishes itself in temporarily floodable soil and that the degree of flooding influences the growth of the baru (the higher the flood intensity, the lower the growth in H). In addition, the plant has potential for use in silvopastoral systems and in ecological restoration in areas subject to temporary flooding.

Keywords: Baru; Wetlands; Silvopastoral; Floodable soil; Pantanal

Introdução

Uma das características de áreas úmidas, é que elas são permanentemente ou periodicamente inundadas (Junk et al., 2014). Esse tipo de condição é propício para a formação de solos hidromórficos, como os plintossolos (Santos et al., 2018). A inundação de solos, além de limitar o estabelecimento e o crescimento de espécies florestais na natureza, também limita o cultivo de espécies florestais de interesse econômico. Por exemplo, o *Eucalyptus spp.* (Santos e Paludzyszyn Filho, 2014) e a *Tectona grandis* (Alfenas et al., 2023), espécies largamente cultivadas no mundo, não se desenvolvem em solos encharcados.

A restrição de uso para produção, imposta por solos temporariamente inundáveis, faz com que a produção se limite à pecuária em algumas dessas áreas (Pozer e Nogueira, 2004). Isto desperta a necessidade de se desenvolver tecnologias de produção e encontrar espécies florestais com potencial de produção nessa condição edáfica. Para Martínez et al. (2010) e Paixão et al. (2019), o cultivo florestal integrado com a pecuária (sistema silvipastoril) é uma opção promissora de uso múltiplo sustentável dessas áreas.

Pode-se considerar que um desafio a ser superado é a seleção de espécies florestais e o desenvolvimento da silvicultura para sistemas integrados de produção, como o silvipastoril (Andrade et al. 2012). Um desafio ainda maior é o desenvolvimento de tecnologia de produção sustentável em solos inundáveis, possibilitando a otimização do uso da terra através do cultivo de espécies florestais de interesse econômico.

A flora brasileira possui uma diversidade de espécies arbóreas com potencial de exploração econômica. Apesar disso, o cultivo de espécies nativas é limitado pela carência de conhecimento científico (Matos et al., 2018). No Brasil, o cultivo comercial de espécies florestais se concentra no gênero *Eucalyptus sp.* e *Pinus sp.*, espécies exóticas (IBÁ, 2021). Em contraponto a essa realidade, algumas iniciativas voltadas para a silvicultura de nativas têm

surgido, como o “Programa de Pesquisa e Desenvolvimento em Silvicultura de Espécies Nativas” (Piotto et al., 2021) e o livro de Pinã-Rodrigues e Silva (2021), que trata sobre a silvicultura tropical e o potencial madeireiro e não madeireiro de diversas espécies nativas brasileiras. O programa de pesquisa constava com *Dipteryx alata* (baru) em uma lista preliminar (Rolim e Pinã-Rodrigues, 2020), porém a espécie não foi incluída na lista final de espécies a serem pesquisadas.

O baru ocorre no Norte, Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste do Brasil (Carvalho et al., 2020), além da Bolívia e Peru (Pérez-Cruz e Villarroel, 2020). A espécie tem importante função socioeconômica. No Bioma Cerrado, está entre as 8 espécies arbóreas mais utilizadas (SFB, 2020). As amêndoas são utilizadas na alimentação humana, sendo consumidas torradas, além de utilizadas em receitas regionais (Sano et al., 2016). Sua introdução em produtos industrializados é uma realidade. De fato, a amêndoa é o principal produto, sendo obtido através do extrativismo em populações naturais presentes na vegetação nativa ou em áreas de pastagem. Essa ação extrativista é relevante para algumas famílias e comunidades rurais do Pantanal e Cerrado, que têm a renda complementada com a comercialização da castanha do baru (Melo et al., 2017; Magalhães, 2019).

Além da castanha, a espécie também produz madeira de alta qualidade, sendo possível encontrar cercas de baru em algumas propriedades rurais. Campos Filho e Sartorelli (2015) relatam que o crescimento é lento, a densidade é alta (0,90 a 1,2 g/cm³) e a durabilidade natural da madeira é elevada.

Lima et al. (2013) apontam o baru com potencial de uso em sistemas silvipastoris. Apesar do grande potencial econômico da espécie, devido aos múltiplos usos (Santos et al., 2021), há carência de informações sobre o cultivo (Andrade et al., 2020). Um dos aspectos silviculturais positivo do baru é a elevada taxa de sobrevivência no campo (Martinotto et al., 2012; Santos et al., 2018 e Nieri et al., 2018). Apesar do comportamento da espécie ainda ser pouco conhecido, alguns estudos foram desenvolvidos nos últimos anos em casa de vegetação, como os trabalhos de Sano (2001), Matos et al. (2018), Linné et al. (2021), Linné et al. (2023) e Sousa et al. (2024), que abordaram respostas

fisiológicas, bioquímicas e de crescimento, além de Moraes et al. (2021), que estudou a sobrevivência. Além desses trabalhos, podemos citar alguns que avaliaram o crescimento ou sobrevivência em condições de campo, como Venturoli et al. (2011), Martinotto et al. (2012), Canuto et al. (2015), Nieri et al. (2018), Santos et al. (2018) e Barbosa et al. (2021). Importante ressaltar que nenhum dos trabalhos em condições de campo foram realizados em solo submetido à inundação temporária, de maneira que essa é uma grande lacuna no conhecimento sobre o baru.

Melotto et al. (2019) e Campos Filho e Silva (2021) mencionam que o baru é pouco exigente em fertilidade e prefere solos secos e bem drenados, recomendando o plantio em solos não encharcados. Esta informação é conflitante com a proposta de plantio de baru em solos temporariamente inundados. No entanto, no campo, nós encontramos indivíduos adultos de baru, produzindo castanha, em área de pastagem sujeita a inundação temporária.

Ademais, além do potencial de produção, o baru também apresenta relevância ecológica e possibilidade de utilização na restauração de ecossistemas, inclusive em áreas úmidas de baixa intensidade de inundação. O potencial de uso em atividades de restauração foi reconhecido por Linné et al. (2021) e Moraes et al. (2021). Para os autores, a espécie tem potencial de uso em atividades de restauração em áreas temporariamente inundadas.

No que tange ao Cerrado, o progresso das mudanças climáticas tem submetido as plantas a condições desfavoráveis às quais elas não estão naturalmente adaptadas, tais como temperaturas elevadas e até alagamentos. Considerando que o baru é uma espécie chave para a conservação desse domínio fitogeográfico, é importante compreender as respostas da espécie a estresses bióticos não comuns, como a inundação Sousa et al. (2024).

Em virtude das alterações das áreas de APP promovida pela Lei 12.651, conhecida como “Novo Código Florestal”, que reduziu as áreas de APP às margens dos cursos d’água (Chaves et al., 2023), Bogarín et al. (2023), consideram que as espécies utilizadas para a restauração precisam ser mais tolerantes a inundações. A nova zona legal de APP, por ser menos extensa do

que a garantida pela legislação anterior, é mais sujeita a inundações, que são ainda mais potencializadas diante das correntes mudanças climáticas. Os autores identificaram 13 espécies arbóreas, comuns no Cerrado e Pantanal, tolerantes ao alagamento e, portanto, adequadas para a restauração de áreas temporariamente inundáveis. Segundo a pesquisa, são necessários outros estudos sobre a resposta à inundação de outras espécies do Cerrado e do Pantanal.

Ressalta-se que Guerra et al. (2020) identificaram uma enorme lacuna de informações concerning a restauração no Pantanal. Os autores encontraram apenas um estudo realizado. Já nos anos subsequentes, pode-se encontrar alguns trabalhos que vêm sendo desenvolvidos, como os estudos de Aniceto et al. (2021), de semeadura direta em nascentes, Reis et al. (2021), que avaliaram a técnica de transplante de plântulas em áreas inundáveis e Bogarín et al. (2023), que avaliaram a sobrevivência, as estratégias morfológicas e fenológicas de espécies arbóreas sujeitas à inundação.

Apesar dos esforços recentes, o conhecimento acerca da restauração no Pantanal ainda é bastante incipiente. Para Aniceto et al. (2021), estudos com espécies chave, são fundamentais para restauração ecológica. Para a restauração de áreas úmidas, como nesse domínio fitogeográfico, deve levar em consideração os gargalos bióticos e abióticos típicos da região.

Considerando o exposto, partiu-se da hipótese de que (1) o baru pode se estabelecer em solos submetidos à inundação temporária e (2) o grau de inundação influencia o desempenho silvicultural das plantas. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi analisar o desempenho silvicultural inicial de baru em solo sujeito à inundação temporária e avaliar a influência do grau de inundação sobre o crescimento e a sobrevivência das plantas. Os resultados gerados, visam subsidiar a otimização do uso de solos temporariamente inundáveis para produção, na forma de sistemas silvipastoris, bem como fornecer informações úteis para a restauração ecológica de áreas inundáveis.

Material e métodos

Área de estudo

O experimento foi realizado em uma área sujeita à inundação temporária pela oscilação do lençol freático, que é uma característica de área úmida polimodal imprevisível, onde a inundação pode durar poucas semanas (Junk et al., 2015). Baseado na recente classificação de macrohabitats do Pantanal brasileiro, proposta por Nunes da Cunha et al. (2023), a área de estudo pode ser classificada na unidade funcional *áreas antropogênicas*, subclasse *áreas antropogênicas recentes* e macrohabitat *pastagem exótica*. O estudo ocorreu em uma propriedade particular, destinada à pecuária, em Cáceres – MT, Brasil, no Bioma Pantanal. As coordenadas geográficas são 57°50'31,5"W e 15°57'17,1"S, com altitude de 132 m. A temperatura média anual varia entre 21,56°C e 27,09 n°C, e o índice pluviométrico anual é de 1202,22 mm (Souza et al., 2013). O clima apresenta sazonalidade, com período seco de abril a setembro e período chuvoso de outubro a março. O relevo da área experimental é plano e apresenta flutuação do lençol freático, que aflora no período chuvoso, deixando o solo inundado (Figura 1). A área experimental possui 1,45 ha, coberta com pastagem do tipo *Urochloa humidicola* e *Urochloa brizantha*, com árvores isoladas, como *Curatella americana* (lixeira), *Tabebuia aurea* (paratudo), *Hymenaea* sp. (jatobá), *Cecropia* sp. (embaúba), espécies arbóreas, que ocorrem em áreas inundáveis, além da palmeira *Bactris* sp. (tucum) e a própria *Dipteryx alata* (baru), espécie de interesse do presente estudo, dentre outras. Uma planta aquática também foi observada no local, a *Sagittaria guayanensis*.



Figura 1: Mudras de *Dipteryx alata* uma semana após o plantio, em área com lençol freático aflorado (a e b), e aos 20 meses de idade, sem afloramento do lençol (c).

Uma trincheira de 1,1 m foi aberta para a classificação do solo, que foi classificado como Plintossolo Argilúvico Distrófico Arênico, de textura franco arenosa, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (Santos et al., 2018). A caracterização textural do solo foi realizada com base em coletas no perfil (Tabela 1), apresentando variação de teores de areia de 53,9 % a 80,8% ao longo do perfil. Além disso, foram coletadas amostras de solo ao longo da área de estudo, nas camadas de 0,0 cm a 20,0 cm e 20,0 cm a 40,0 cm, para caracterização química do solo (Tabela 2).

Tabela 1: Características texturais do Plintossolo Argilúvico Distrófico Arênico da área de estudo.

Horizonte	Prof. cm	Areia	Silte	Argila	Classe Textural
dag/kg					
Af	0-10	53,9	35,7	10,4	Franco-arenosa
ABf	10-30	65,4	22,6	12,0	Franco-arenosa
BAf	30-48	63,7	23,4	12,9	Franco-arenosa
Bfg1	48-90	80,8	3,9	15,3	Franco-arenosa
Bfg2	90-110	73,4	9,7	16,9	Franco-arenosa

Tabela 2: Atributos químicos do Plintossolo Argilúvico Distrófico Arênico da área de estudo.

Profund. (cm)	pH (em H ₂ O)	P mg/dm ³	K ⁺ --	Ca ²⁺ -----	Mg ²⁺ -----	H+Al	Al ³⁺ -----	SB	V -----	Corg -----
Cmolc / dm ³ ----- %-----										
0 - 20	5,4	4,2	39,9	0,8	0,3	18,0	0,3	1,20	0,09	9,6
20 - 40	5,1	2,0	27,3	0,3	0,1	52,2	0,5	0,49	0,09	4,9

Preparo da área, plantio e origem das mudas

As árvores que havia previamente na área e que estavam sobre as faixas (renques) de plantio ou sombreando as mesmas, foram derrubadas para evitar heterogeneidade de luminosidade nas parcelas.

O controle da matocompetição foi realizado nos renques, em 8 metros de largura, garantindo uma faixa limpa de 1m de distância das mudas das linhas laterais. A orientação dos renques foi no sentido Leste-Oeste.

O plantio foi realizado manualmente, com cavadeira, no final do período chuvoso (início de fevereiro de 2017). As covas foram de 15 x 15 x 30 cm. As mudas foram produzidas com tubetes, adquiridas de viveiro comercial e estavam com 7 meses, com altura média de 19,79 cm. As mudas foram plantadas em renques com fileiras triplas em espaçamento médio de 3x3 m nos renques e 20 m entre renques (Figura 3).

O coroamento e adubação foram realizados nas covas. Foram aplicados 30 g de N-P-K (5-25-5) e 1 g de FTE BR-12. É possível que a adubação não tenha tido efeito sobre as mudas, pois uma semana após o plantio, o lençol freático aflorou, o que pode ter causado perda de nutrientes por lixiviação.

Operações de manutenção

Em abril de 2017, dois meses após o plantio, foi feito o coroamento das mudas com enxada, adubação de cobertura e roçada semi-mecanizada entre linhas e entre plantas. Também foi feito um replantio nesta data. A adubação de cobertura parece não ter beneficiado as mudas. Algumas apresentaram sintomas de queima, mas se recuperaram. Aos 4, e 9 meses foram realizadas mais operações de coroamento e aos 10 meses foi realizada roçada mecanizada entre linhas. Aos 15 meses as mudas foram coroadas novamente.

Coleta de dados

Apesar da área de estudo ser homogênea, com relevo plano e solo submetido à inundação periódica, o micro relevo pode proporcionar zonas com maior ou menor grau de inundação em uma escala espacial de poucos metros. Alguns locais ficam com o lençol freático aflorado por mais tempo (Figura 2).

Desta forma, para identificar zonas com diferentes graus de inundação, a lâmina d'água foi mensurada ao longo dos renques. A mensuração foi realizada no período chuvoso (março de 2018), quando o lençol freático estava aflorado.

A lâmina d'água foi medida em todas as parcelas. O ponto de medição foi entre a planta da linha esquerda e a planta da linha central (Figura 3). Nos pontos onde a lâmina d'água não estava aparente, foram abertas covas de 30 cm de profundidade, com cavadeira boca de lobo. Em sequência foi medida a profundidade da lâmina d'água. Nos pontos em que o lençol estava acima da superfície, foi medida a altura da lâmina d'água em relação à superfície do solo (Figura 4). Os valores foram expressos em cm, sendo negativos ou positivos, se abaixo ou acima da superfície do solo, respectivamente. Quanto maior o valor da lâmina d'água, maior é o grau de inundação.

Para classificar a área experimental em diferentes zonas de inundação, adotou-se dois cenários. No primeiro (Figura 5), baseado nos valores de limite inferior, primeiro quartil, segundo quartil, terceiro quartil e limite superior do *box plot* dos dados de lâmina d'água, foram criadas 4 classes contínuas de lâmina d'água. Essas classes correspondem às zonas de diferentes graus de inundação. As classes adotadas foram de -26 cm a -13 cm; -12 cm a -5 cm; -4 cm a +1 cm e, +2 a +5 cm, correspondendo aos graus de inundação 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

No segundo cenário, foram elaboradas classes de lâmina d'água de maior contraste (Figura 5), conferindo uma maior diferenciação dos graus de inundação. Neste caso, a determinação dos intervalos de classe foi arbitrária, considerando as características do conjunto de dados. As classes adotadas foram de -25 cm a -20 cm; -12 cm a -9 cm; -5 cm a -3 cm e, +3 a +5 cm, correspondendo aos graus de inundação 1', 2', 3' e 4', respectivamente. Importante ressaltar, que esses valores de lâmina d'água não correspondem aos valores máximos ou mínimos de lâmina d'água para cada ponto ou zona de inundação. São valores obtidos de uma única coleta. O lençol freático é flutuante, de maneira que a altura da lâmina varia ao longo do tempo e é dependente da pluviosidade. Por exemplo, no ponto em que a lâmina d'água for -5 cm (abaixo do nível do solo), em um outro momento esse valor poderá ser até maior (acima do nível do solo). Desta forma, os valores das classes de lâmina d'água são aqui apresentados para indicar zonas com maior ou menor grau de inundação.

As plantas foram mensuradas até os 20 meses de idade. A altura (H) foi mensurada mensalmente e o diâmetro ao nível do solo (DNS) aos 20 meses. Os valores foram expressos em cm.

Além disso, foi calculado o incremento corrente em altura (ICH) e o incremento médio em altura (IMH) para o período avaliado, conforme as equações:

$$ICH = X_{ms} - X_m$$

Onde:

ICH: Incremento corrente mensal em altura (cm);

X_{ms}: Média de altura (cm) considerada do mês seguinte;

X_m: Média de altura (cm) de um mês qualquer.

$$IMH = ICT / T_x$$

Onde:

IMH: Incremento médio em altura (cm);

ICT: Incremento em altura para todo o período (cm);

T_x: Idade final (meses).

A sobrevivência foi mensurada aos 2, 11 e 20 meses de idade, sendo expressa em porcentagem.

Para subsidiar a discussão dos resultados e auxiliar na compreensão da dinâmica d'água na área de estudo, anotou-se os períodos em que o lençol freático estava aparente, além do monitoramento esporádico da lâmina d'água na mesma trincheira utilizada para a classificação do solo. Além disso, foram obtidos dados de precipitação de um pluviômetro distante 26 km da área experimental.

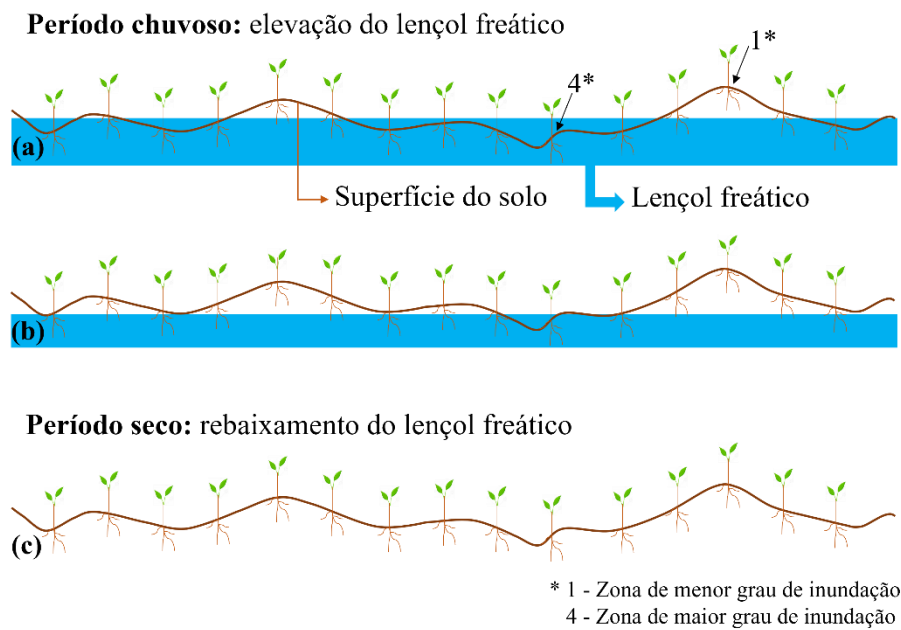


Figura 2: Esquema representativo da área de estudo, com destaque para a flutuação do lençol freático e variações do micro relevo, proporcionando zonas de menor ou maior grau de inundação. Em “a” e “b”, no período chuvoso, momentos de lençol freático mais elevado e menos elevado, respectivamente. Em “c”, período seco, a representação do lençol freático rebaixado.

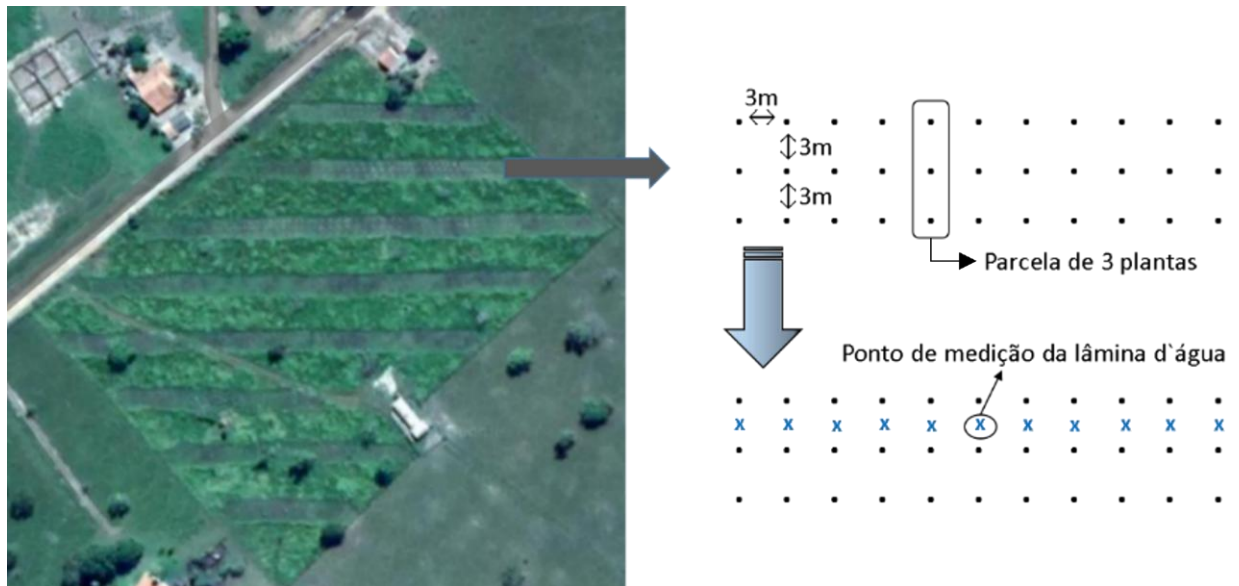


Figura 3: Croqui da área experimental, com destaque para o arranjo espacial dos renques, para as parcelas e para os pontos de medição da lâmina d'água ao longo dos renques.



Figura 4: Medição da lâmina d' água nos pontos onde a mesma estava aparente (acima da superfície do solo) (a) e nos pontos onde não estava aparente (abaixo da superfície do solo), com abertura de cova (b).

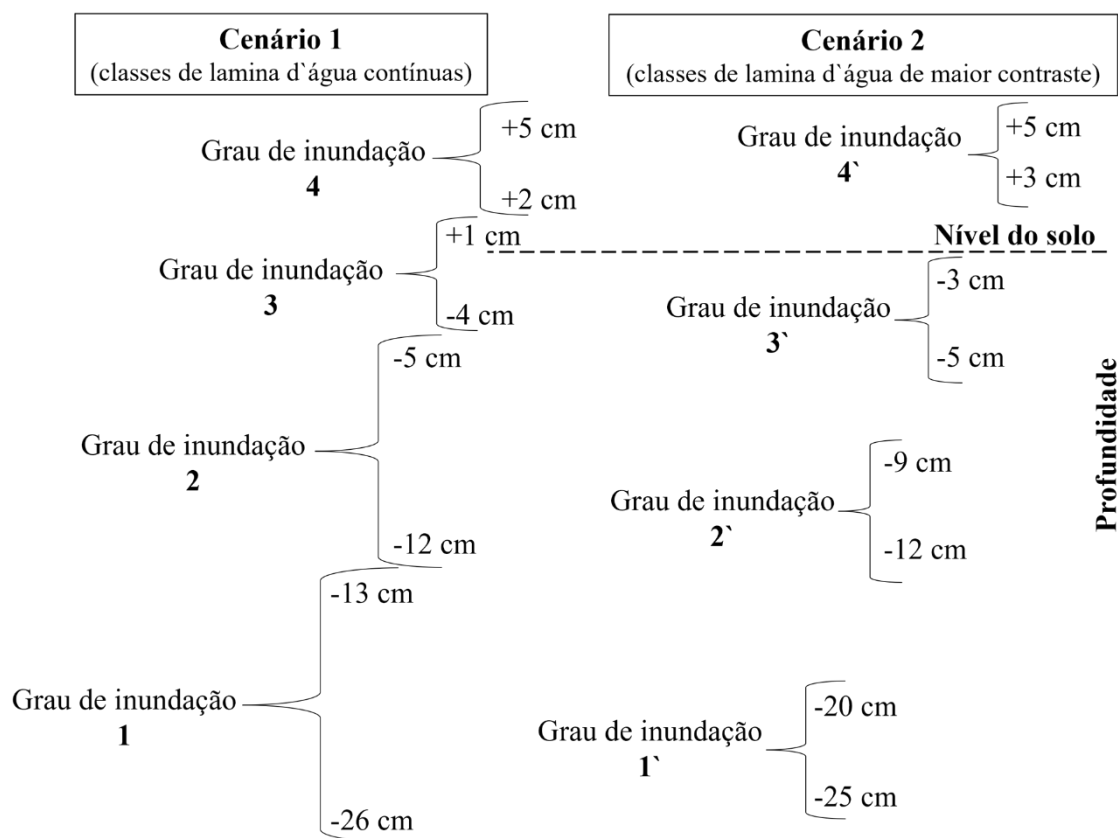


Figura 5: Representação dos dois cenários de avaliação adotados, onde o cenário 1 apresenta classes contínuas de lâmina d' água, onde os limites das classes são valores sequenciais (ex: limite inferior do grau de inundação 4 é +2cm e limite superior do grau de inundação 3 é +1cm). Já o cenário 2, apresenta classes de maior contraste de lâmina d' água, onde os limites das classes não são valores sequenciais (ex: limite inferior do grau de inundação 4' é +3cm e limite superior do grau de inundação 3' é -3 cm).

Delineamento experimental

O delineamento foi inteiramente casualizado (DIC), composto por 4 tratamentos (graus de inundação). A área apresentou um total de 96 parcelas compostas por 3 plantas, totalizando 288 plantas. Porém, o número de parcelas se apresentou distribuído de forma desuniforme entre os tratamentos. Para balancear o experimento, algumas parcelas foram excluídas por sorteio, de acordo com a necessidade de cada análise. O número de parcelas por tratamento se baseou no tratamento com o menor número de parcelas.

Para avaliação da H e DNS aos 20 meses, foram utilizadas apenas as parcelas com duas ou três plantas sobreviventes. Foi feita a exclusão de parcelas, através de sorteio, para balancear o experimento. Utilizou-se 15 parcelas por tratamento, sendo 60 parcelas no total. Já para avaliação da sobrevivência, foram utilizadas o total de 96 parcelas aos 2 meses, 20 parcelas aos 11 meses e 7 parcelas aos 20 meses.

Processamento dos dados e análise estatística

Foram elaboradas curvas de crescimento em H e gráficos de ICH mensal para o período de 20 meses. A H e o DNS foram avaliados aos 20 meses de idade. Foram verificados os pressupostos da ANOVA de normalidade (teste de Kolmogorov–Smirnov) e homogeneidade da variância (teste de Bartlett) dos resíduos. Como DNS não apresentou normalidade, aplicou-se a raiz quadrada para transformação dos dados. Utilizou-se o teste de Tukey para comparação de médias. O nível de significância foi de 5% ($p < 0.05$). Já a sobrevivência foi avaliada aos 2, 11 e 20 meses, sendo aplicado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$). Os resultados foram expressos em porcentagem. Todas as variáveis foram analisadas nos dois cenários de lâmina d'água citados.

Foi feita uma análise do povoamento de forma geral, aos 20 meses, sem considerar os diferentes graus de inundação. Para esta análise, cada planta foi considerada uma repetição (194 plantas no total). Foram elaboradas curvas de crescimento em H e gráfico de ICH mensal, além de estatística descritiva.

Resultados

Crescimento em altura para os diferentes graus de inundação

Para o cenário 1 (classes contínuas de graus de inundação), a H foi de 52,8 cm para o grau de inundação 1 e 45,4 cm para o grau de inundação 4, aos 20 meses. Ressalta-se que o grau 1 é o menor e o 4 é o maior grau de inundação. Os modelos de crescimento para os graus de inundação 1, 2, 3 e 4 apresentaram valores de R^2 elevados, variando de 0,94 a 0,95 (Figura 6).

No cenário 1 de avaliação, os valores de H não difeririam significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). No entanto, no cenário 2, que apresenta classes de lâmina d'água de maior contraste, houve diferença significativa de H para todos os graus de inundação, indicando que o grau de inundação influencia o crescimento em altura do baru. O grau de inundação 4, o mais intenso, apresentou o menor valor de H, 46,4 cm (Figura 7). O DNS não apresentou diferença significativa em nenhum dos cenários de avaliação. Os valores de DNS variaram de 0,9 cm (± 3 cm) a 1,2 cm ($\pm 0,3$).

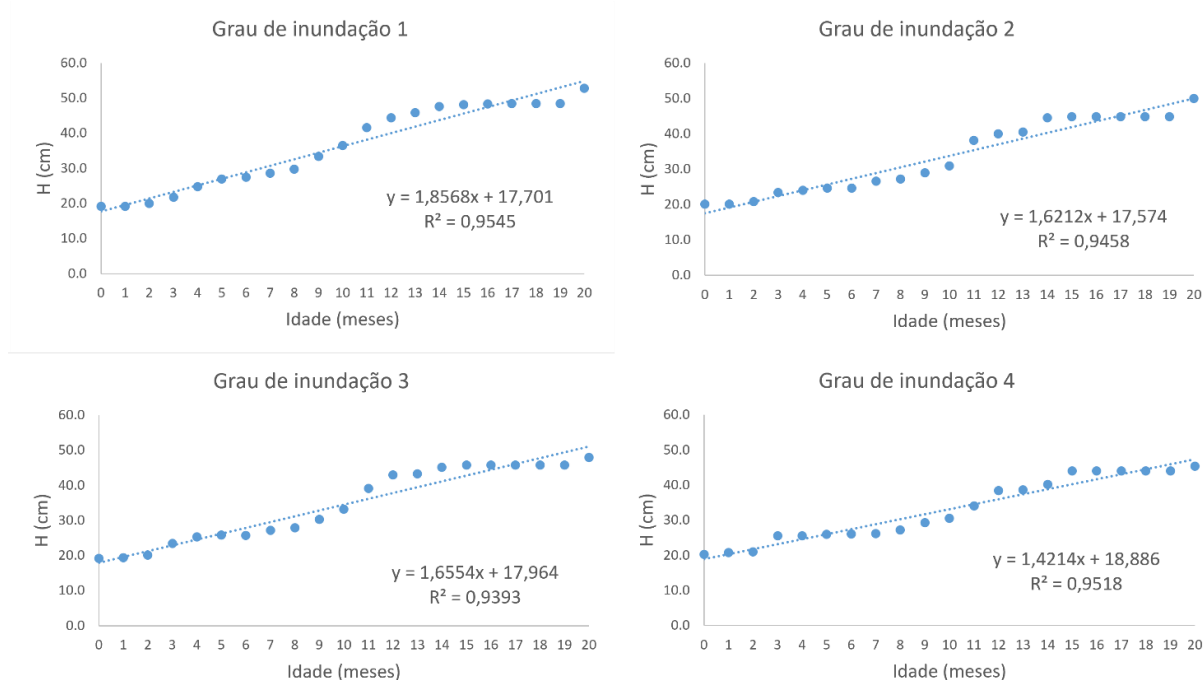


Figura 6 Curvas de crescimento em altura (H) de *Dipteryx alata*, para diferentes graus de inundação, em solo temporariamente inundável, no Bioma Pantanal, Brasil.

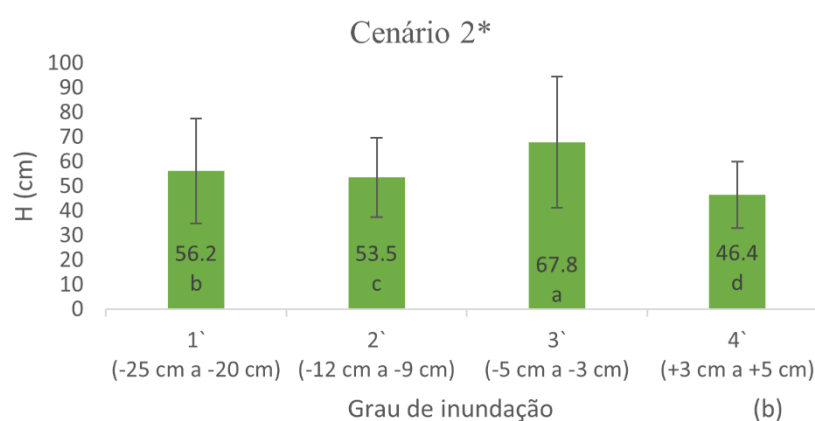
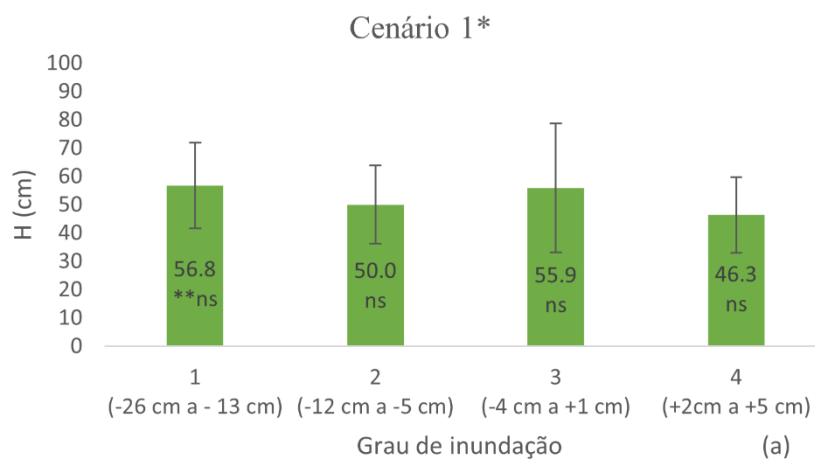


Figura 7: Médias de altura (H) de *Dipteryx alata* aos 20 meses idade, para diferentes graus de inundação, em solo temporariamente inundável, em dois cenários da avaliação (a e b), no Bioma Pantanal, Brasil. Médias com letras diferentes na coluna, para um mesmo cenário, diferem significativamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). * Cenário 1 apresenta classes de lâmina d'água contínuas e o cenário 2 apresenta classes de maior contraste. ** Não houve diferença significativa para um mesmo cenário de avaliação.

Sobrevivência para os diferentes graus de inundação

A sobrevivência do baru apresentou tendência de menores valores conforme o aumento do grau de inundação. Apesar disso, não houve diferença significativa pelo teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$) para ambos os cenários de avaliação. Nos cenários 1 e 2, o maior grau de inundação (4 e 4') apresentou os

menores valores absolutos de sobrevivência aos 2, 11 e 20 meses. No cenário 1 a sobrevivência foi de 62,5%, aos 20 meses. Os graus de inundação 1, 2 e 3 apresentaram valores de 81,7%, 72,5% e 80,8%, respectivamente. Já no cenário 2, a sobrevivência foi de 68,2% para o grau de inundação 4`, aos 20 meses. Os graus de inundação 1`, 2` e 3` apresentaram valores de 78,8%, 69,7% e 84,8%, respectivamente (Figura 8). Os valores elevados de sobrevivência de baru, obtidos nesse estudo, indicam que o baru se estabelece em solo temporariamente inundável.

Para os cenários 1 e 2, houve um ligeiro aumento nos valores de sobrevivência de 2 para 11 meses, nos graus de inundação 3` e `4 (Figura 8). Esse aumento é explicado pelo fato da sobrevivência aos 11 e 20 meses, ter sido mensurada após o replantio realizado aos 2 meses.

Crescimento em altura geral

Para uma análise do crescimento em altura geral, ou seja, de todo o povoamento, desconsiderando os tratamentos, a estatística descritiva do conjunto de dados, aos 20 meses, mostra que a planta de menor H foi de 10 cm e a maior foi de 134 cm, com uma amplitude de 124 cm. A média de H foi de 50,5 cm ($\pm 20,5$ cm) e coeficiente de variação de 40,1% (Tabela 3). O histograma de H, aos 20 meses, mostra uma concentração de altura nas classes de 45 e 59 cm, com 57,2% dos indivíduos, sendo 8,8% dos indivíduos na classe de 73 cm, 6,7% na classe de 87 cm e 3% nas classes de 101 cm, 115 cm e 129 cm de H (Figura 9). O modelo de crescimento apresentou valor de R^2 elevado, 0,95 ($F = 0,00$; $p < 0,05$) (Figura 10).

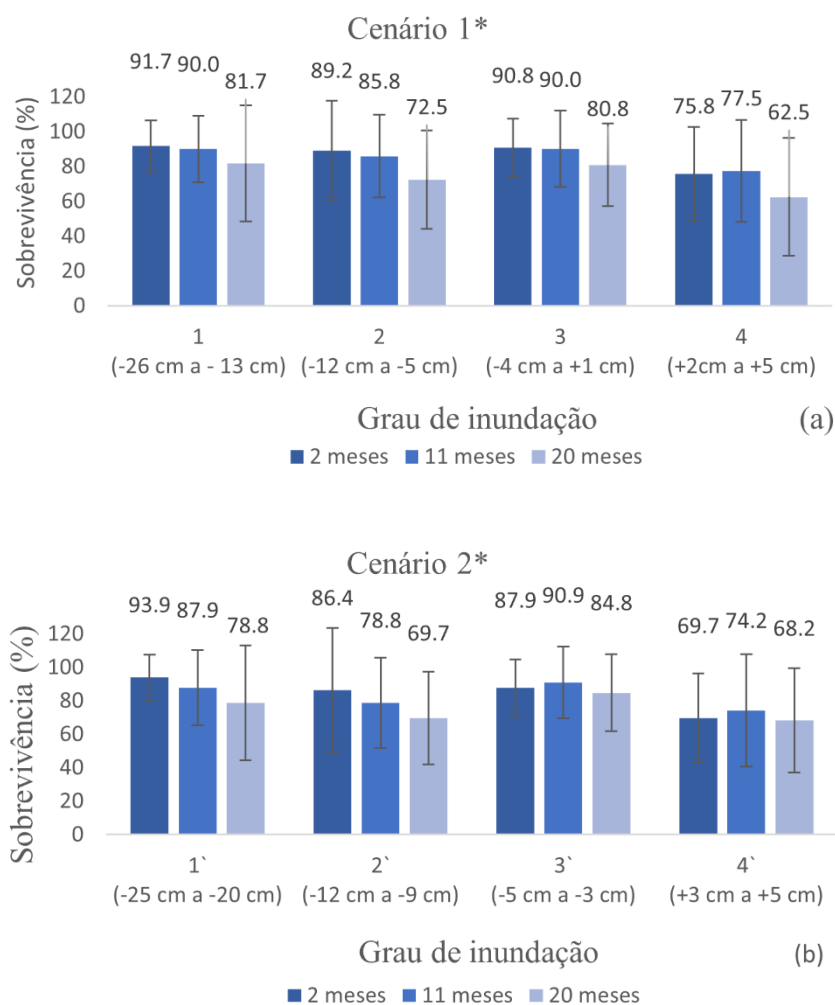


Figura 8: Médias de sobrevivência (%) ($\pm$ desvio padrão) de *Dipteryx alata* aos 2, 11 e 20 meses idade, para diferentes graus de inundação, em solo temporariamente inundável, em dois cenários da avaliação (a e b), no Bioma Pantanal, Brasil. Não houve diferença significativa, para um mesmo cenário de avaliação, pelo teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$). * Cenário 1 apresenta classes de lâmina d' água contínuas e o cenário 2 apresenta classes de maior contraste.

O incremento corrente mensal em altura (ICH), indica o que o plantio cresceu de fato, no mês. No início do plantio, em maio de 2017, aos 3 meses, foi detectado um leve pico de crescimento, que foi antecedido por período de maiores precipitações (meses 1 e 2). Em sequência o ICH decaiu, coincidindo com um período de seca. Dos 4 aos 8 meses, de junho a outubro de 2017, período seco, o crescimento foi muito pequeno, variando de 0,4 cm a 1,3 cm. As idades em que as plantas mais cresceram foram aos 11, 12 e 20 meses, janeiro, fevereiro e outubro de 2018, respectivamente, período chuvoso. Dos 15 aos 19 meses de idade (maio a setembro de 2018), período seco, as plantas não cresceram. O crescimento máximo, em um período de um mês, foi de 5,2 cm. As plantas cresceram 23,1 cm nos primeiros 12 meses e 31,4 cm em 20 meses (Figura 11).

Tabela 3: Estatística descritiva, para a variável altura (H), do conjunto de dados de plantas individuais de *Dipteryx alata*, em solo temporariamente inundável, no Bioma Pantanal, Brasil.

Estatística descritiva para altura (H)	
Mínimo	10 cm
Média	50,5 cm
Mediana	48 cm
Máximo	134 cm
Desvio Padrão da Média	1,5 cm
Desvio Padrão	20,5 cm
Coefficiente de Variação	0,41
Amplitude	124 cm
Tamanho da Amostra	194

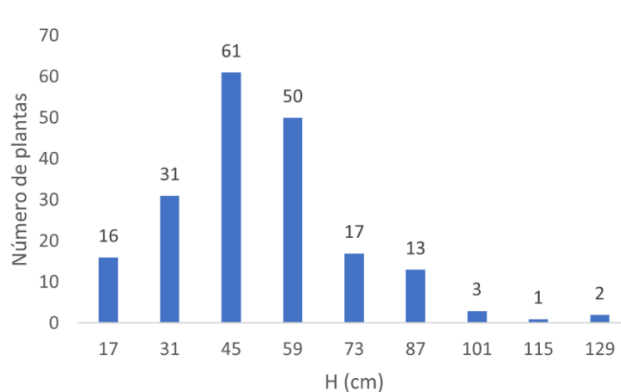


Figura 9: Histograma de altura (H) de *Dipteryx alata*, aos 20 meses de idade, em solo submetido à inundação temporária, no Bioma Pantanal, Brasil.

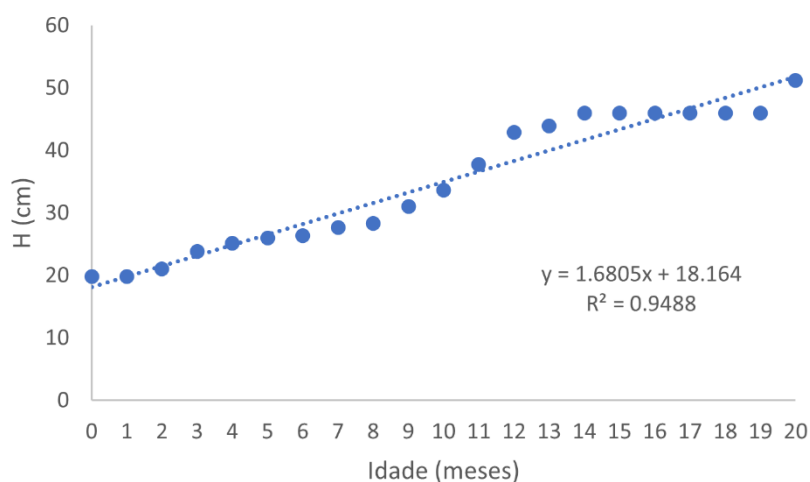


Figura 10: Curva de crescimento em altura (H) de *Dipteryx alata*, em solo submetido à inundação temporária, no Bioma Pantanal, Brasil.

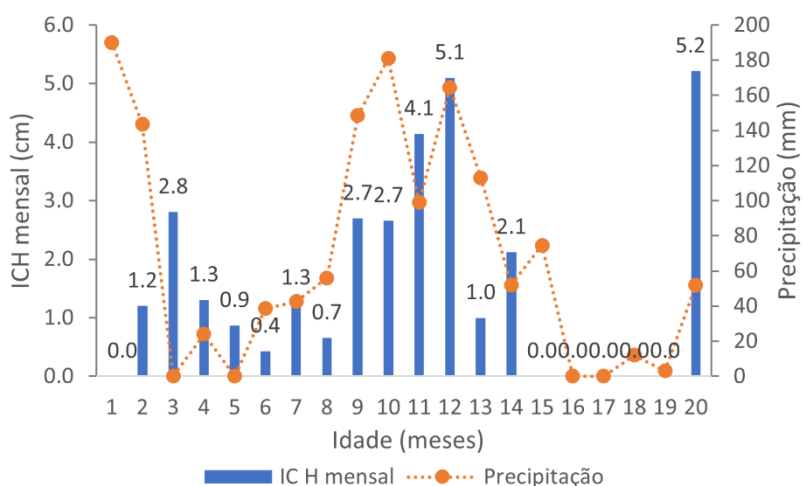


Figura 11: Incremento corrente mensal em altura (ICH), em cm, de *Dipteryx alata* e precipitação (mm), em solo submetido à inundação temporária, no Bioma Pantanal, Brasil.

Em março de 2017 (1 mês após o plantio) e em abril de 2017 (aos 2 meses), o lençol freático já estava abaixando, porém, aflorado em alguns pontos. Em 2018, em janeiro (aos 11 meses), o lençol estava aflorado em toda a área. Aos 12, 13 e 14 meses (fevereiro, março e abril de 2018, respectivamente) também foi observado afloramento do lençol, porém em menor intensidade. As observações foram pontuais e não indicam o alagamento da área durante todo o período mencionado.

Discussão

Os resultados demonstram que o baru consegue se estabelecer em solos temporariamente inundáveis, a partir de plantio de mudas, com sobrevivência de até 84,8% (Figura 8), o que é considerado elevado, principalmente considerando a condição de inundação temporária, que é um fator abiótico fortemente estressante para a espécie. De acordo com Sousa et al. (2024), tanto a seca, quanto a inundação, que provoca hipoxia, são fatores abióticos de estresse para o baru. Porém, o estudo dos autores revelou que as alterações fisiológicas e bioquímicas de mudas da espécie, em resposta ao estresse, indicam que o baru é mais sensível ao estresse desencadeado pela inundação. Os autores relatam que os parâmetros que indicam danos às plantas foram mais fortemente associados à inundação do que à seca.

Considerando os resultados de sobrevivência de mudas de outras 13 espécies arbóreas do Cerrado e Pantanal, obtidos por Bogarín et al. (2023), em experimento de 56 dias de inundação, em casa de vegetação, os valores de sobrevivência obtidos no presente estudo podem ser considerados elevados. Os valores de sobrevivência de 13 espécies variaram de 55% até aproximadamente 97%. É importante ponderar que o presente experimento foi realizado no campo e o período de inundação foi menor do que o do estudo de Bogarín et al. (2023). No entanto, nesse mesmo sentido, Linné et al. (2021), relataram 100% de sobrevivência de mudas de baru em experimento de 60 dias de inundação, mesmo após 100 dias do fim da inundação. É importante considerar, que os estudos citados, foram realizados em condições de casa de vegetação, onde tem-se o controle de fatores que podem provocar a mortalidade de mudas, como ataque de insetos. Como o presente estudo foi realizado no campo, onde esses fatores estão presentes, a taxa de sobrevivência encontrada é ainda mais relevante.

Assim, constatamos que o baru tolera inundação, podendo ser considerada uma espécie nativa importante para o uso em sistemas silvipastoris inundáveis, podendo otimizar o uso de solos sujeitos à inundação temporária, normalmente destinados à pecuária solteira.

Além da aplicação na produção, constatamos a possibilidade de uso do baru na restauração de áreas submetidas a inundação temporária de baixa intensidade.

Nesse experimento, observamos que o grau de inundação influencia o crescimento em H do baru. O crescimento é maior em inundação de menor intensidade, chegando ao valor de H de até 31,6% maior do que em áreas de maior intensidade de inundação, conforme os parâmetros do presente estudo.

Santos et al. (2018), Linné et al. (2021) e Linné et al. (2023) indicam que o baru possui plasticidade fenotípica e fisiológica, o que confere resistência à espécie e favorece o seu estabelecimento em áreas sob inundação periódica Linné et al. (2021).

O efeito negativo da inundação sobre a altura de baru foi relatado por Linné et al. (2021), em estudo realizado em casa de vegetação. Em experimento de fisiologia, foi verificado o efeito prejudicial da inundação sobre as mudas. Os autores demonstraram a redução de trocas gasosas. As plantas tiveram redução de 79,05% da taxa fotossintética líquida, além de 83,33% da eficiência de carboxilação de Rubisco. Também houve redução da eficiência quântica do fotossistema II e do índice de clorofila. De acordo com o estudo, a espécie é sensível ao stress por excesso de água.

Linné et al. (2023) também relatam que o alagamento reduz a eficiência fotossintética e prejudica a eficiência quântica do fotossistema II, além de prejudicar a qualidade das mudas, que não se recupera 100 dias após o período de alagamento. Já as características metabólicas são capazes de se ajustar e recuperar em 100 dias após a ocorrência da inundação. Os autores também relatam o surgimento de lenticelas hipertrofiadas e atribuem a isto, associado a outras alterações de ordem fisiológicas e um sistema antioxidante eficiente, a sobrevivência da espécie nessa condição. Além disso, o estudo mostrou que a qualidade das mudas sob alagamento por 40 dias, não diferiu da qualidade de mudas não alagadas, mas durante 60 dias de alagamento a qualidade das mudas diminuiu.

Em uma abordagem diferente dos autores citados acima, Matos et al. (2018) avaliaram o efeito do déficit hídrico no crescimento da espécie aos 85 dias, em estudo de fisiologia, realizado em vasos. Assim como a sensibilidade ao stress por excesso de água, aqui já mencionada, os resultados dos autores indicam que o baru apresenta sensibilidade elevada ao déficit hídrico, que provoca redução do crescimento. Os autores relatam que as plantas reduzem a transpiração estomática como estratégia de sobrevivência sob déficit hídrico.

Ora, baseado nas informações mencionadas, podemos dizer que, submetido à inundação temporária, o baru está sujeito a um ambiente de duplo estresse sazonal. Estresse devido à inundação, no período chuvoso, e estresse por déficit hídrico em regiões de estação seca prolongada, como no caso do presente experimento. Isso aponta para a necessidade de desenvolvimento de estratégias que promovam a manutenção ou a mínima perda de qualidade das mudas durante os períodos de estresse. além do desenvolvimento de técnicas que beneficiem o crescimento da espécie nos períodos mais propícios (sem ou de menor estresse).

Nesse sentido, o trabalho de Silva et al. (2022) demonstra que a adubação com silício atenua danos ao aparato fotossintético de mudas de baru e contribui para uma recuperação fisiológica mais rápida das mudas. Trabalhando com outra espécie, a *Eugenia myrcianthes* Foresti et al. (2024), submeteram as mudas à flutuação hídrica, alternado a supressão da irrigação e inundação. Os autores concluíram que a aplicação foliar de silício favoreceu o desenvolvimento das mudas e a tolerância à flutuação hídrica.

Aliado ao desenvolvimento destas técnicas e estratégias silviculturais, é importante incorporar essa condição edáfica específica em programas de melhoramento, que visam a produção, realizando testes de progênies. Testes de progênies podem impulsionar ganhos silviculturais para espécies nativas (Santos et al., 2023). Estes testes podem ser realizados a partir de propágulos de matrizes presentes em solos submetidos à inundação temporária ou a partir da seleção de plantas introduzidas nesses ambientes, como no caso do presente experimento. Considerando a busca por ganhos silviculturais do baru em solos

alagáveis, é desejável uma seleção de indivíduos que se destacaram em altura e diâmetro para estudos de melhoramento, visando o cultivo em solos com essas características.

Aos 20 meses, no segundo ano do plantio, o pico de crescimento observado no início do período chuvoso (outubro de 2018), após um período de crescimento nulo na estação seca (Figura 11), parece indicar uma tendência de mudança no padrão de crescimento linear até então observado (Figura 10). É possível que as plantas entrariam em uma fase de crescimento exponencial ou, pelo menos, em uma fase de maior crescimento proporcional, se comparado aos períodos chuvosos anteriores. No entanto, seriam necessárias mensurações posteriores aos 20 meses para afirmações conclusivas. O estudo não prosseguiu após 20 meses devido à entrada de gado na área, que provocou mortalidade das plantas. Importante observar, que um valor razoável de precipitação (52 mm) aos 20 meses (outubro de 2018), valor próximo (56 mm) ao observado aos 8 meses (outubro de 2017) e quase três vezes inferior ao observado (149 mm) aos nove meses (novembro 2017), está associado a um crescimento (ICH) 7,4 e 1,9 vezes maior do que os obtidos nos respectivos períodos. Isso pode demonstrar uma melhor adaptação das mudas ao local.

Ainda cabe mencionar, que o lençol freático já estava aflorado uma semana após o plantio, em fevereiro de 2017 (mês 0). Em março de 2017 (1 mês após o plantio) e em abril de 2017 (aos 2 meses), o lençol freático já estava abaixando, porém, aflorado em alguns pontos. Em 2018, em janeiro (aos 11 meses), o lençol estava aflorado em toda a área. Aos 12, 13 e 14 meses também foi observado afloramento do lençol, porém em menor intensidade.

Como não foram encontrados registros de trabalhos realizados no campo, que abordam o crescimento e o estabelecimento do baru em solos temporariamente inundados, serão feitas comparações dos resultados com trabalhos realizados em solos não hidromórficos. A princípio, esses solos são mais propícios ao estabelecimento e crescimento do baru.

Barbosa et al. (2021) obtiveram valores de H de 54,25 cm a 89,75 cm, aos 12 meses, para baru consorciado com diferentes plantas de cobertura em Latossolo Vermelho distrófico. Em estudo de progênie em Latossolo Vermelho

distrófico típico muito argiloso, Canuto *et al.* (2015) obtiveram H média de 48 cm e 149 cm, aos 7 e 21 meses, respectivamente. Martinotto *et al.* (2012), em Neossolo Quartzarênico êutrico, relataram H de baru, aos 20 meses, variando de 53 cm a 81 cm em plantios consorciados com mandioca e adubação fosfatada. Já Nieri *et al.* (2018), em avaliação aos 52 meses (idade mais avançada em relação ao presente estudo e em relação aos trabalhos mencionados), reportam H de 175 cm em sistema silvipastoril, em Latossolo Vermelho, no Bioma Cerrado.

Mesmo em Plintossolo Argilúvico Distrófico arênico, de textura franco-arenosa, sob inundação periódica, os valores de H aos 20 meses (46,3 cm a 56,8 cm) (Figura 6) do presente experimento, estão compreendidos na amplitude de valores relatados para idades semelhantes, em solos não hidromórficos, na literatura mencionada (53 cm e 149 cm; Martinotto *et al.*, 2012 e Canuto *et al.*, 2015, respectivamente). Apesar disso, os valores do presente estudo estão próximos aos menores valores mencionados na literatura. Ainda é importante mencionar, que as mudas foram plantadas com H média inicial de apenas 19,79 cm no presente estudo, enquanto os estudos mencionados não trazem essa informação.

Santos *et al.* (2018), avaliaram o crescimento de baru a partir de semeadura direta em vegetação natural de cerrado *stricto sensu*. Por se tratar de semeadura direta, podemos entender os valores de H como equivalentes ao incremento corrente. O incremento foi de 10 cm aos 12 meses. O incremento no presente estudo foi maior (18 cm).

Quanto à sobrevivência, Venturoli *et al.* (2011) relatam valores de 55% aos 12 meses, em plantio de enriquecimento, e 85% aos 25 meses após replantio (realizado aos 15 meses). Em estudo de progênie, em Latossolo Vermelho distrófico típico, muito argiloso, foi registrada sobrevivência de 55%, aos 21 meses (Canuto *et al.*, 2015). Os autores não informam se foi realizado o controle de matocompetição, sendo que este é um fator que influencia a mortalidade de mudas de espécies florestais. Em Neossolo Quartzarênico êutrico, Martinotto *et al.* (2012) obtiveram 79% de sobrevivência de baru aos 20

meses. Santos et al. (2018), avaliaram a sobrevivência de baru a partir de semeadura direta em vegetação natural de cerrado stricto sensu. A sobrevivência foi de 76,3% aos 12 meses. Já Nieri et al. (2018), em idade mais avançada (52 meses), obtiveram sobrevivência de 82,5% em sistema silvipastoril, em Latossolo Vermelho, no Bioma Cerrado.

Em experimento em casa de vegetação, Moraes et al. (2021) avaliaram a tolerância de plântulas de baru à inundação. A sobrevivência das plântulas foi de 100% ao alagamento de 15 dias. Já aos 30 dias de alagamento, a sobrevivência foi de 78%. Apesar do experimento ter sido realizado em casa de vegetação e com plantas na fase de plântula, os resultados dos autores corroboram os obtidos por este trabalho, por Linné *et al.* (2021) e por Linné et al. (2023), indicando que o grau de inundação interfere no estabelecimento da espécie.

Os valores de sobrevivência obtidos pelo presente estudo variaram de 62,5% a 84,8% aos 20 meses. Os valores estão compreendidos na amplitude de valores relatados para idades semelhantes, em solos não hidromórficos, na literatura mencionada (55% e 79 %; Canuto et al., 2015 e Martinotto et al., 2012, respectivamente).

Conclusões

O baru se estabelece em solo temporariamente inundável, a partir do plantio de mudas, sendo que, até aos 20 meses, o crescimento é lento, com padrão sazonal, que é influenciado pela sazonalidade climática e pela inundação do solo. A sobrevivência pode ser considerada elevada aos 20 meses, considerando a condição de stress por falta de água no período seco e, principalmente, pelo stress em decorrência da saturação hídrica imposta pela inundação no período chuvoso. O grau de inundação influencia a altura da espécie. Quanto menos intensa a inundação, maior é o crescimento em altura. As plantas suportam até 5 cm de lâmina d'água temporária, sendo necessários estudos mais detalhados para avaliação em lâmina d'água maior.

A espécie tem potencial de produção em sistema silvipastoril nessa condição edáfica, possibilitando a otimização do uso de solos alagáveis em pastagens já formadas e, conseqüentemente, a valorização de propriedades rurais com essa característica de solo. Porém, devem ser realizados estudos em idades mais avançadas para conclusões mais assertivas. Além disso, o baru tem potencial de uso na restauração ecológica de áreas submetidas à inundação temporária de baixa intensidade, devendo ser priorizado o plantio de mudas em áreas com menor grau de inundação.

As classes de lâmina d'água mais contrastadas são mais eficientes para detectar diferenças de crescimento de sobrevivência do que classes contínuas. Isto deve ser observado em metodologias de futuros estudos.

Agradecimentos

Ao Sr. Fábio Gustavo, proprietário do sítio onde o estudo foi realizado, ao IFMT, pela concessão de apoio financeiro, ao CNPQ, pela concessão de bolsa PIBITI e à Agropecuária Grendene pelo fornecimento dos dados pluviométricos.

Referências

- ALFENAS, R. F.; ALEXANDRE, F. S.; PIROLLA, M. L. A.; ARRIEL, D. A. A.; ALFENAS, A. C. Doenças da teca no Brasil. *In*: REIS, C. A. F.; OLIVEIRA, E. B. de; SANTOS, A. M. (org.). **Teca (*Tectona grandis* L. f.) no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa, 2023. p. 448-480.
- ANDRADE, C. M. S.; SALMAN, A. K.; OLIVEIRA, T. K. **Guia Arbopasto: manual de identificação e seleção de espécies arbóreas para sistemas silvipastoris**. Brasília, DF: Embrapa, 2012.
- ANDRADE, H. S. F. D.; BARONI, G. D. R.; BRANCALION, P. H. S.; MORAES, M. L. T. D.; SILVA, P. H. M. D. Parâmetros genéticos de crescimento inicial e frutificação de *Dipteryx alata* Vogel em teste de progênie e espaçamento. **Scientia Forestalis**, v. 48, p. 1-10, 2020.
- ANICETO, A. F. B.; IKEDA-CASTRILLON, S. K.; FERNANDEZ, J. R. C.; MARTINS, B. A. A.; DUARTE, Í. S.; MORAIS, F. F. de. Avaliação de técnicas de semeadura direta e da transposição de serapilheira para a emergência e estabelecimento da Manduvi (*Sterculia apetala* (Jacq.) Karts.) em trabalho de restauração ecológica numa área de nascentes degradadas no Pantanal Mato-grossense. **Research, Society and Development**, v. 10, p. 1-16, 2021.

BARBOSA, A. K. de; SILVA, F. G.; PERIN, A.; DORNELLES, P.; MELO, A. P. C. de; NETO, A. R.; DORNELLES, D. P.; DÁRIO, B. M. M. Initial development of *Dipteryx alata* Vog consortium with cover plants. **Research, Society and Development**, v. 10, p. 1-15, 2021.

BOGARÍN, M. R.; REIS, L. K.; LAURA, V. A.; POTT, A.; SZABO, J. K.; GARCIA, L. C. Morphological and phenological strategies for flooding tolerance in Cerrado and Pantanal trees: implications for restoration under new legislation. **Restoration Ecology**, v. 31, p. e13660, 2023.

CAMPOS FILHO, E. M.; SARTORELLI, P. A. R. **Guia de árvores com valor econômico**. Agroicone, 2015.

CAMPOS FILHO, E. M.; SILVA, R. de S. *Dipteryx alata* Vogel. In: PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; SILVA, J. M. S. da (org.). **Silvicultura tropical: o potencial madeireiro e não madeireiro das espécies tropicais**. [S. l.]: Ed. dos Autores, 2021. p. 214-225.

CANUTO, D. S. D. O.; ZARUMA, D. U. G.; MORAES, M. A. D.; SILVA, A. M. D.; MORAES, M. L. T. D.; FREITAS, M. L. M. Caracterização genética de um teste de progênies de *Dipteryx alata* Vog. proveniente de remanescente florestal da Estação Ecológica de Paulo de Faria, SP, Brasil. **Hoehnea**, v. 42, p. 641-648, 2015.

CARVALHO, C. S.; LIMA, H. C.; CARDOSO, D. B. O. S. **Dipteryx in Flora do Brasil 2020**. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB29628>. Acesso em: 8 nov. 2021.

CHAVES, L. A.; NEVES, S. M. A. D. S.; PIERANGELI, M. A. P.; CASTRILLON, S. K. I.; KREITLOW, J. P. Change in the protection regime of Permanent Preservation Areas in the 2012 Forest Code. **Ambiente & Sociedade**, v. 26, p. e02112, 2023.

FORESTI, A. C.; SCALON, S. P. Q.; SANTOS, C. C.; REIS, L. C.; LINNÉ, J. A. Does Silicon in *Eugenia myrcianthes* Seedlings Under Water Stress Contribute in the Tolerance and Recovery? **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, p. 1-13, 2024.

GUERRA, A.; REIS, L. K.; BORGES, F. L. G.; OJEDA, P. T. A.; PINEDA, D. A. M.; MIRANDA, C. O.; GARCIA, L. C. Ecological restoration in Brazilian biomes: Identifying advances and gaps. **Forest Ecology and Management**, v. 458, p. 117802, 2020.

IBÁ - INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório Anual Ibá 2020**. São Paulo: IBÁ, 2020.

JUNK, W. J.; PIEDADE, M. T. F.; LOURIVAL, R.; WITTMANN, F.; KANDUS, P.; LACERDA, L. D.; AGOSTINHO, A. A. Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, v. 24, p. 5-22, 2014.

JUNK, W. J.; PIEDADE, M. T. F.; LOURIVAL, R.; WITTMANN, F.; SCHÖNGART, J.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; AGOSTINHO, A. A.; NÓBREGA, R. L. B.; CAMARGO, F. Parte I: Definição e classificação das áreas úmidas (AUs) brasileiras: base científica para uma nova política de proteção e manejo sustentável. *In*: NUNES DA CUNHA, C.; PIEDADE, M. T. F.; JUNK, W. J. (org.). **Classificação e delineamento das áreas úmidas brasileiras e de seus macrohabitats**. Cuiabá: EdUFMT, 2015. p. 13-76.

LIMA, P. R.; MALAVASI, U. C.; ECCO, M.; ROSSET, J. S. Espécies lenhosas nativas com potencial de uso em sistema silvipastoril em Mato Grosso do Sul. **Revista Agrogeoambiental**, v. 5, p. 67-78, 2013.

LINNÉ, J. A.; JESUS, M. V.; LIMA, V. T.; REIS, L. C.; DRESCH, D. M.; SCALON, S. P. Q.; SANTOS, C. C. Effects of shading on growth and photosynthetic metabolism in *Dipteryx alata* Vogel seedlings under flooding. **Brazilian Journal of Botany**, v. 44, p. 629-638, 2021.

LINNÉ, J. A.; JESUS, M. V.; LIMA, V. T.; REIS, L. C.; SANTOS, C. C.; SCALON, S. D. P.; DRESCH, D. M. Do *Dipteryx alata* Vogel seedlings recover the quality and the photosynthetic and antioxidant responses in the post-flooding? **Brazilian Journal of Biology**, v. 83, p. 1-11, 2023.

MAGALHÃES, R. M. A sustainability analysis of the exploitation of the baru almond (*Dipteryx alata* Vogel) in the Brazilian Savanna. **Sustainability in Debate**, v. 10, p. 85-95, 2019.

MARTÍNEZ, G. B.; MOURÃO JUNIOR, M.; BRIENZA JUNIOR, S. Seleção de ideótipos de espécies florestais de múltiplo uso em planícies fluviais do Baixo Amazonas, Pará. **Acta Amazonica**, v. 40, p. 65-74, 2010.

MARTINOTTO, F.; MARTINOTTO, C.; COELHO, M. D. F. B.; AZEVEDO, R. A. B.; ALBUQUERQUE, M. C. D. F. Sobrevivência e crescimento inicial de espécies arbóreas nativas do Cerrado em consórcio com mandioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 22-29, 2012.

MATOS, F. S.; FREITAS, I. A. S.; SANTOS, L. V. B. D.; VENÂNCIO, D. G.; SILVEIRA, P. S. D. Initial growth of *Dipteryx alata* plants under water deficit. **Revista Árvore**, v. 42, p. 1-8, 2018.

MELO, S. A. B. X. de; SILVA, F. S. da; MELO, A. X. de. Aspectos socioeconômico dos agricultores familiares extrativistas do cumbaru no município de Poconé-Pantanal Mato-Grossense. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 8, p. 62-73, 2017.

MELOTTO, A. M.; LAURA, V. A.; BUNGENSTAB, D. J.; FERREIRA, A. D. Espécies florestais em sistemas de produção em integração. *In*: BUNGENSTAB, D. J.; ALMEIDA, R. G.; LAURA, V. A.; BALBINO, L. C.; FERREIRA, A. D. (org.). **ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. p. 429-454.

MORAIS, J. F.; LIMA, J. B. de; SILVA, F. H. B. da; OLIVEIRA, P. C. de. Da Semente à Plântula: Fases Iniciais de *Dipteryx Alata* Vogel (Fabaceae) Diferem na Tolerância ao alagamento. **Biodiversidade**, v. 20, p. 43-53, 2021.

NIERI, E. M.; MACEDO, R. L. G.; VAZ MARTINS, T. G.; MELO, L. A. de; VENTURIN, N. Comportamento silvicultural de espécies florestais em arranjo para integração pecuária floresta. **Floresta**, v. 48, p. 195-202, 2018.

NUNES DA CUNHA, C.; BERGIER, I.; TOMAS, W. M.; DAMASCENO-JÚNIOR, G. A.; SANTOS, S. A.; ASSUNÇÃO, V. A.; SARTORI, A. L. B.; POTT, A.; ARRUDA, E. C. de; GARCIA, A. da S.; NICOLA, R. D.; JUNK, W. J. Classificação dos Macrohabitat do Pantanal Brasileiro: Atualização para Políticas Públicas e Manejo de Áreas Protegidas. **Biodiversidade Brasileira**, v. 13, p. 1-26, 2023.

PAIXÃO, E.; ARRUDA, E. C. de; JUNK, W. J.; CUNHA, C. N. da. Buscando Soluções Sustentáveis para Áreas Úmidas Savânicas Brasileiras Via Uso Múltiplo. **Biodiversidade Brasileira**, v. 9, p. 1-11, 2019.

PÉREZ-CRUZ, C. A.; VILLARROEL, D. Spatial distribution model of the almendra chiquitana (*Dipteryx alata* Vogel, Fabaceae) in Bolivia. **Ecología en Bolivia**, v. 55, p. 60-172, 2020.

PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; SILVA, J. M. S. da (org.). **Silvicultura tropical: o potencial madeireiro e não madeireiro das espécies tropicais**. [S. l.]: Ed. dos Autores, 2021.

PIOTTO, D.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; VERDADE, L. M.; CALMON, M.; FREITAS, M. L. M.; ROLIM, S. G.; BRIENZA JUNIOR, S. **Programa de pesquisa e desenvolvimento em silvicultura de espécies nativas**. São Paulo: Coalizão Brasil Clima, Florestas e Agricultura, 2021. 29 p.

POZER, C. G.; NOGUEIRA, F. Flooded native pastures of the northern region of the Pantanal of Mato Grosso: biomass and primary productivity variations. **Brazilian Journal of Biology**, v. 64, p. 859–866, 2004.

REIS, L. K.; DAMASCENO JUNIOR, G. A.; BATTAGLIA, L. L.; GARCIA, L. C. Can transplanting seedlings with protection against herbivory be a cost-effective restoration strategy for seasonally flooded environments? **Forest Ecology and Management**, v. 483, p. 118742, 2021.

ROLIM, S. G.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; PIOTTO, D.; BATISTA, A.; FREITAS, M. L. M.; BRIENZA JUNIOR, S.; ZAKIA, M. J. B.; CALMON, M. **Prioridades e lacunas de pesquisa e desenvolvimento em silvicultura de espécies nativas no Brasil**. São Paulo: WRI Brasil, 2020. 44 p.

SANO, M. S. **Ecofisiologia do crescimento inicial de *Dipteryx alata* Vog. (Leguminosae)**. 2001. 119 f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília, Brasília, 2001.

SANO, S. M.; BRITO, M. A.; RIBEIRO, J. F. *Dipteryx alata*: Baru. In: VIEIRA, R. F.; CAMILLO, J.; CORADIN, L. (org.). **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: Região Centro-Oeste**. Brasília, DF: MMA, 2016. (Série Biodiversidade, 44).

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SANTOS, K. D. G. dos; FERREIRA, W. de M.; SILVA, K. L. F.; COIMBRA, R. R.; SOUZA, C. C. Germination and initial development of *Dipteryx alata* Vogel (Fabaceae) in two “Cerrado” areas: a step toward its use in reforestation programs. **Brazilian Journal of Botany**, v. 41, p. 415-424, 2018.

SANTOS, P. E. T. dos; PALUDZYSZYN FILHO, E. Critérios para escolha de eucaliptos para plantio. In: SANTAROSA, E.; PENTEADO JUNIOR, J.; GOULART, I. C. G. dos R. (org.). **Transferência de tecnologia florestal: cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 23-26.

SANTOS, T. S.; MARTINS, K.; AGUIAR, A. V.; BAPTISTA FILHO, M. J.; MENUCELLI, J. R.; FARIA, R. F. P.; LONGUI, E. L. Growth and wood quality traits in a *Dipteryx alata* Vog. (Fabaceae) progeny and provenance test. **Forest Science**, v. 67, n. 4, p. 468-477, 2021.

SANTOS, A. P. dos; NUNES, A. C. P.; CORRÊA, R. X.; MARQUES, F. G.; ROLIM, S. G.; CARVALHO SANTOS ROMÃO, K. de. Genetic diversity and selection gains in progeny tests of tropical forest species: a two-way road for the future. **New Forests**, p. 1-24, 2023.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO (SFB). **Boletim do IFN Cerrado – Levantamento Socioambiental**. 1. ed. Brasília, DF: SFB, 2020. 18 p.

SILVA, M. S.; SCALON, S. P. Q.; SANTOS, C. C.; SILVERIO, J. M.; SANTOS, J. K. V.; DRESCH, D. M. Does silicon help to alleviate water deficit stress and in the recovery of *Dipteryx alata* seedlings? **Brazilian Journal of Biology**, v. 82, p. e259016, 2022.

SOUSA, L. F.; MENEZES-SILVA, P. E.; BATISTA, P. F.; ALVES, A. P. S.; SILVA, M. C. A. P.; ALMEIDA, S. E. da S.; FARNESE, F. S. Environmental vulnerability index in *Dipteryx alata*: influence of abiotic stresses on central processes of plant physiology and metabolism. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 46, p. 31, 2024.

SOUZA, A. P.; MOTA, L. L.; ZAMADEI, T.; MARTIN, C. C.; ALMEIDA, F. T.; PAULINO, J. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado de Mato Grosso. **Nativa**, v. 1, p. 34-43, 2013.

VENTUROLI, F.; FAGG, C. W.; FAGG, J. M. F. Desenvolvimento inicial de *Dipteryx alata* Vogel e *Myracrodruon urundeuva* Allemão em plantio de enriquecimento de uma floresta estacional semidecídua secundária. **Bioscience Journal**, v. 27, p. 482-493, 2011.

Capítulo 2

Dipteryx alata Vogel **pode ser utilizada na restauração e produção em ambientes sujeitos à hipóxia? - Respostas morfológicas e fenológicas de mudas de *Dipteryx alata* Vogel a diferentes níveis de inundação**

Resumo

É importante compreender as respostas das plantas aos estresses bióticos, devido à aceleração das mudanças climáticas, principalmente no que tange aos eventos climáticos extremos, como inundações. Para reduzir os riscos das ações de restauração, frente aos extremos climáticos, é importante a seleção adequada das espécies. Para garantir a restauração com elevada diversidade, é necessário investigar a resposta à inundação das espécies arbóreas. Porém, tal conhecimento é de relevância não apenas para a restauração, mas também para a produção silvipastoril, como em pastagens inundáveis no Pantanal, atualmente destinadas à pecuária solteira. O objetivo deste estudo foi avaliar a sobrevivência, as respostas morfológicas e biométricas de mudas de *Dipteryx alata* Vogel sob diferentes níveis de inundação. O experimento foi realizado em viveiro, utilizando tanques para simulação de diferentes níveis (10, 15, 20 e 25 cm) de inundação de mudas de cumbaru, além de um tratamento controle (sem inundação). As mudas permaneceram inundadas por 30 dias. Foram avaliadas a sobrevivência, a produção de lenticelas, queda foliar e parâmetros biométricos. Foi desenvolvida metodologia própria para mensuração das lenticelas. A sobrevivência foi de 100% para todos os tratamentos. As mudas investiram em lenticelas como estratégia de adaptação ao ambiente hipóxico, apresentando tendência de aumento de produção de lenticelas, indicado pelo índice de visualização de lenticelas (IVL), com o aumento do nível de inundação. Os resultados apresentaram diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Apesar de não ter apresentado diferença significativa pela ANOVA ($p < 0,05$), em termos absolutos, a inundação provocou maior perda de folhas em comparação às mudas sem inundação. Os resultados revelam tendência de aumento de perda foliar com o aumento da lâmina d'água, com modelo logarítmico apresentando R^2 elevado (0,97). A massa seca total (MST) apresentou diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). As mudas sujeitas aos maiores níveis de inundação apresentaram os menores valores de MST diferindo significativamente das mudas sem inundação. O índice de qualidade de Dickson (IQD) das mudas submetidas à inundação, para todos os níveis de inundação, foram significativamente semelhantes ($p < 0,05$) aos valores de IQD das mudas não inundadas. Conclui-se que, o cumbaru, na fase de muda, suporta inundação de até 25 cm, por 30 dias, com sobrevivência de 100%. A espécie apresenta plasticidade fenotípica e respostas adaptativas à inundação, na fase de muda. As mudas investem em lenticelas e abscisão foliar como estratégia de sobrevivência à hipoxia. A produção de lenticelas e queda de folhas aumentam à medida que o nível de inundação (hipoxia) aumenta. Os resultados indicam que o cumbaru pode ser utilizado na restauração de áreas temporariamente inundáveis, assim como na arborização de pastagens com baixo grau de inundação, para formação de sistemas silvipastoris no Cerrado e Pantanal.

Palavras-chave: Baru; Alterações morfológicas; Plasticidade fenotípica; Recuperação de áreas degradadas; Silvicultura

Abstract

It is important to understand plant responses to biotic stresses due to the acceleration of climate change, especially regarding extreme weather events such as flooding. To reduce the risks of restoration actions in the face of climate extremes, proper species selection is crucial. To ensure restoration with high diversity, it is necessary to investigate the flooding response of tree species. This knowledge is relevant not only for restoration but also for silvopastoral production, such as in floodable pastures in the Pantanal, which are currently used for cattle grazing. The objective of this study was to evaluate the survival, morphological, and biometric responses of *Dipteryx alata* seedlings under different flooding levels. The experiment was conducted in a nursery, using tanks to simulate different flooding levels (10, 15, 20, and 25 cm) for *Dipteryx alata* seedlings, along with a control treatment (no flooding). The seedlings were flooded for 30 days. Survival, lenticel production, leaf fall, and biometric parameters were assessed. A specific methodology for measuring lenticels was developed. Survival was 100% for all treatments. The seedlings invested in lenticels as an adaptation strategy to the hypoxic environment, showing a trend of increased lenticel production, indicated by the lenticel visualization index (LVI), as flooding levels increased. The results showed a significant difference according to the Tukey test ($p < 0.05$). Although no significant difference was found through ANOVA ($p < 0.05$), in absolute terms, flooding caused greater leaf loss compared to seedlings with no flooding. The results revealed a trend of increased leaf loss with higher water levels, with a logarithmic model showing a high R^2 value (0.97). Total dry mass (TDM) showed a significant difference according to the Tukey test ($p < 0.05$). Seedlings subjected to higher flooding levels had the lowest TDM values, significantly different from seedlings with no flooding. The Dickson Quality Index (DQI) of seedlings subjected to flooding, across all flooding levels, was significantly similar ($p < 0.05$) to the DQI values of non-flooded seedlings. It is concluded that *Dipteryx alata*, in the seedling phase, can withstand flooding up to 25 cm for 30 days with 100% survival. The species shows phenotypic plasticity and adaptive responses to flooding during the seedling phase. The seedlings invest in lenticels and leaf abscission as survival strategies under hypoxia. Lenticel production and leaf loss increase as flooding levels (hypoxia) rise. The results indicate that *Dipteryx alata* can be used in the restoration of temporarily floodable areas, as well as in greening pastures with low flooding levels, for the formation of silvopastoral systems in the Cerrado and Pantanal.

Keywords: Baru; Morphological changes; Phenotypic plasticity; Recovery of degraded areas; Silvopastoral

Introdução

A forma como as espécies florestais respondem à inundação, vem sendo alvo de diversas pesquisas, como os estudos de Binotto et al. (2016), Oliveira e Gualtieri (2017), Oliveira, Parolin e Borghetti (2019), Barbosa et al. (2021), Meli, Bettinardi e Brancalion (2021), Moraes et al. (2021), Linné et al. (2021), Bogarín et al. (2023), Linné et al. (2023), principalmente diante das mudanças climáticas. É de extrema importância compreender as respostas das plantas aos estresses bióticos, devido à aceleração das mudanças climáticas (Saleem et al., 2024), principalmente no que tange aos eventos climáticos extremos, como inundações. A frequência e intensidade desses eventos climáticos extremos, estão aumentando com as mudanças climáticas. Para reduzir os riscos de fracasso das ações de restauração, frente aos eventos climáticos extremos, é importante a seleção adequada das espécies (Zabin et al., 2022). Compreender a tolerância, assim como as respostas das plantas à inundação, permitirá identificar espécies adequadas para uso em áreas com diferentes intensidades de inundação e espécies inadequadas para áreas inundáveis (Bogarín et al., 2023).

Apesar dos recentes avanços, para garantir a restauração com elevada diversidade nos diferentes biomas, é necessário investigar a resposta à inundação de mais espécies. Esse tipo de estudo permite identificar espécies adequadas para restauração de áreas com diferentes intensidades de inundação, além de identificar espécies que devem ser evitadas nesse tipo de solo (Bogarín et al., 2023). Considerando que a inundação é um filtro ambiental que restringe o recrutamento de árvores em savanas inundáveis (Villalobos-Vega et al., 2014, Leite et al., 2018 e Ribeiro et al., 2021), esse tipo de conhecimento tem relevante aplicação, especialmente na restauração de áreas no Pantanal e Cerrado, que vêm sofrendo intensa degradação nos últimos anos.

Porém, tal conhecimento é de relevância não apenas para a conservação, mas também para a produção. No Pantanal, 16% da área corresponde à pastagem (Barbosa et al., 2022). A inundação temporária dos solos, comum no Pantanal, gera restrições ao uso para produção, fazendo com que a produção se limite à pecuária em algumas dessas áreas (Pozer e Nogueira, 2004). De fato,

nessa região, a pecuária é a principal atividade econômica (SOS-Pantanal, 2021).

A pecuária é um dos principais usos da terra da América Latina, com impactos ambientais e socioeconômicos (López-Sampson e Andrade, 2024) e, apesar de ser uma atividade de grande importância econômica no mundo, é uma emissora relevante de gases de efeito estufa (GEEs), contribuindo de maneira significativa para as mudanças climáticas (Reisinger e Clark, 2018).

A arborização de pastagens, formando sistemas silvipastoris, é considerada uma solução na direção de sustentabilidade na pecuária, capaz de mitigar os impactos ambientais da atividade. De acordo com Baca et al. (2024), sistemas silvipastoris, através do sequestro e estoque de carbono, podem contribuir para mitigar as mudanças climáticas. Para Paixão et al. (2019), sistemas silvipastoris são uma opção potencial de uso múltiplo sustentável de áreas úmidas savânicas, de ocorrência no Cerrado e Pantanal. No entanto, a escolha adequada de espécies arbóreas para sistemas silvipastoris em áreas que sofrem inundação temporária é um desafio (Cunha Neto et al., 2024), considerando que a inundação limita o estabelecimento e crescimento de espécies arbóreas, principalmente de interesse comercial.

Há espécies arbóreas nativas, como *Vochysia divergens* Pohl. (cambará) e *Byrsonima orbignyana* A. Juss. (canjiquinha), dentre outras, que conseguem se estabelecer em solos inundáveis. No entanto, essas espécies são consideradas invasoras de pastagens (Junk e Nunes da Cunha, 2012). Quanto às espécies exóticas, de interesse comercial e grande conhecimento silvicultural, como *Eucalyptus spp.* (Santos e Paludzyszyn Filho, 2014) e *Tectona grandis* L. f. (teca) (Alfenas et al., 2023), não são recomendadas para solos encharcados.

Nesse cenário, a *Dipteryx alata* Vogel, popularmente conhecida como cumbaru ou baru, é uma espécie potencial tanto para restauração de áreas com baixo grau de inundação (Linné et al., 2021, Morais et al., 2021 e Cunha Neto et al., 2024), quanto para arborização de pastagens temporariamente inundáveis (Cunha Neto et al., 2024).

Apesar de ser uma espécie característica de solos secos (Melotto et al., 2019, Campos Filho e Silva, 2021 e Sousa et al., 2024), pesquisas recentes têm demonstrado que mudas da espécie podem se estabelecer em ambientes inundáveis (Linné et al., 2021; Moraes et al., 2021; Linné et al., 2023 e Cunha Neto et al., 2024). Cunha Neto et al. (2024) mencionam a ocorrência de árvores adultas de cumbaru em pastagem sujeita à inundação temporária.

Este estudo partiu da hipótese de que: (1) o nível de inundação influencia a sobrevivência, as respostas morfológicas e fenológicas de mudas de cumbaru e; (2) mudas de cumbaru conseguem se estabelecer em condições de hipóxia. O objetivo foi avaliar a sobrevivência e as respostas morfológicas de mudas de cumbaru sob diferentes níveis de inundação, em ambiente controlado. Os resultados desse estudo podem ser aplicados na restauração de áreas inundáveis no Pantanal e Cerrado, assim como podem ser úteis para a formação de sistemas silvipastoris com cumbaru, em pastagens temporariamente inundáveis.

Materiais e métodos

Localização e caracterização da área de estudo

O experimento foi realizado em viveiro localizado no Instituto Federal de Mato Grosso – *Campus Cáceres*, em tanque de simulação de inundação, em Cáceres -MT. O clima da região é classificado como Aw (tropical savannah with wet summer and dry winter) pela classificação de Köppen, com temperatura média anual variando de 24°C a 26 °C, e o índice pluviométrico anual é de 1320 mm (Alvares et al., 2013). O clima apresenta sazonalidade, com período seco de abril a setembro e período chuvoso de outubro a março.

O viveiro não possui tela de sombreamento, permitindo que as mudas fiquem expostas a pleno sol, condição semelhante a uma pastagem ou a uma área degradada desprovida de vegetação arbórea.

Descrição do experimento

As mudas foram oriundas do viveiro da Empresa Mato-Grossense de Pesquisa, Assistência e Extensão Rural (EMPAER-MT) e estavam com aproximadamente 12 meses de idade no início do experimento. As sementes utilizadas para produzirem as mudas foram originárias de árvores localizadas nos municípios de Porto Estrela e Cáceres, no Mato Grosso. O recipiente utilizado foi saquinho de 500 cm³. O substrato foi composto por terra preta.

Foram utilizadas 200 plantas. Foi feita a caracterização inicial das mudas antes da inundação, sendo medidas a altura de inserção da primeira folha (m), altura total (m) (parte mais alta da planta), altura da gema apical (m), número de folhas e diâmetro do coleto (mm). Foi utilizada uma régua para medição das referidas alturas e um paquímetro digital para a medição do diâmetro do coleto. Além disso, foi obtida a área foliar (cm²) com o software *imageJ*. Foram utilizadas apenas 8 mudas para caracterização da área foliar inicial. Por ter se utilizado método destrutivo, foram utilizadas mudas que não foram submetidas à inundação, mas que faziam parte do mesmo lote das mudas que foram inundadas. As análises foram feitas no Laboratório de Estudos em Reflorestamento e Recuperação de Áreas Degradadas - LERRAD, do IFMT – *Campus Cáceres*.

Foi construído um tanque para acomodar as mudas e simular diferentes níveis de inundação. As mudas foram acomodadas entre fileiras de tijolos, dispostos no fundo do tanque, com a finalidade de impedir o tombamento das mudas e proporcionar um maior espaçamento entre elas. Em seguida, os tanques foram preenchidos com água até as alturas de lâminas d'água requeridas para cada tratamento.

A água evaporada ou vazada foi repostada diariamente para manter as alturas de lâminas d'água desejadas. Antes da reposição, a água armazenada na mangueira, que estava quente devido à exposição ao sol, era descartada e só então os tanques eram reabastecidos. Quando houve aumento do nível de água em decorrência de chuva, o excesso foi retirado. Foram realizadas medidas

esporádicas de pH e temperatura d'água dos tanques, fazendo a medição sempre antes do reabastecimento dos tanques.

Oliveira, Parolin e Borghetti (2019) relatam a ocorrência de cumbaru em áreas que sofrem alagamento de baixa intensidade, por aproximadamente 30 dias. Os autores utilizaram esse parâmetro em seus estudos. Buscando as condições ambientais mais próximas possíveis às condições reais de ocorrência da espécie no campo e, com base no estudo citado, as mudas foram submetidas à inundação durante um período de 30 dias (30 de março a 29 de abril de 2023). Os tratamentos consistiram em quatro níveis de inundação (10, 15, 20 e 25 cm) por 30 dias, e um grupo controle composto por mudas não inundadas, mas com irrigação diária (Figura 1). A temperatura média nos tanques de inundação foi de 28,8°C, e o pH foi de 8,5 no tanque com 10 cm de inundação, 8,0 nos tanques com 15 cm e 20 cm, e 7,8 no tanque com 25 cm de inundação.

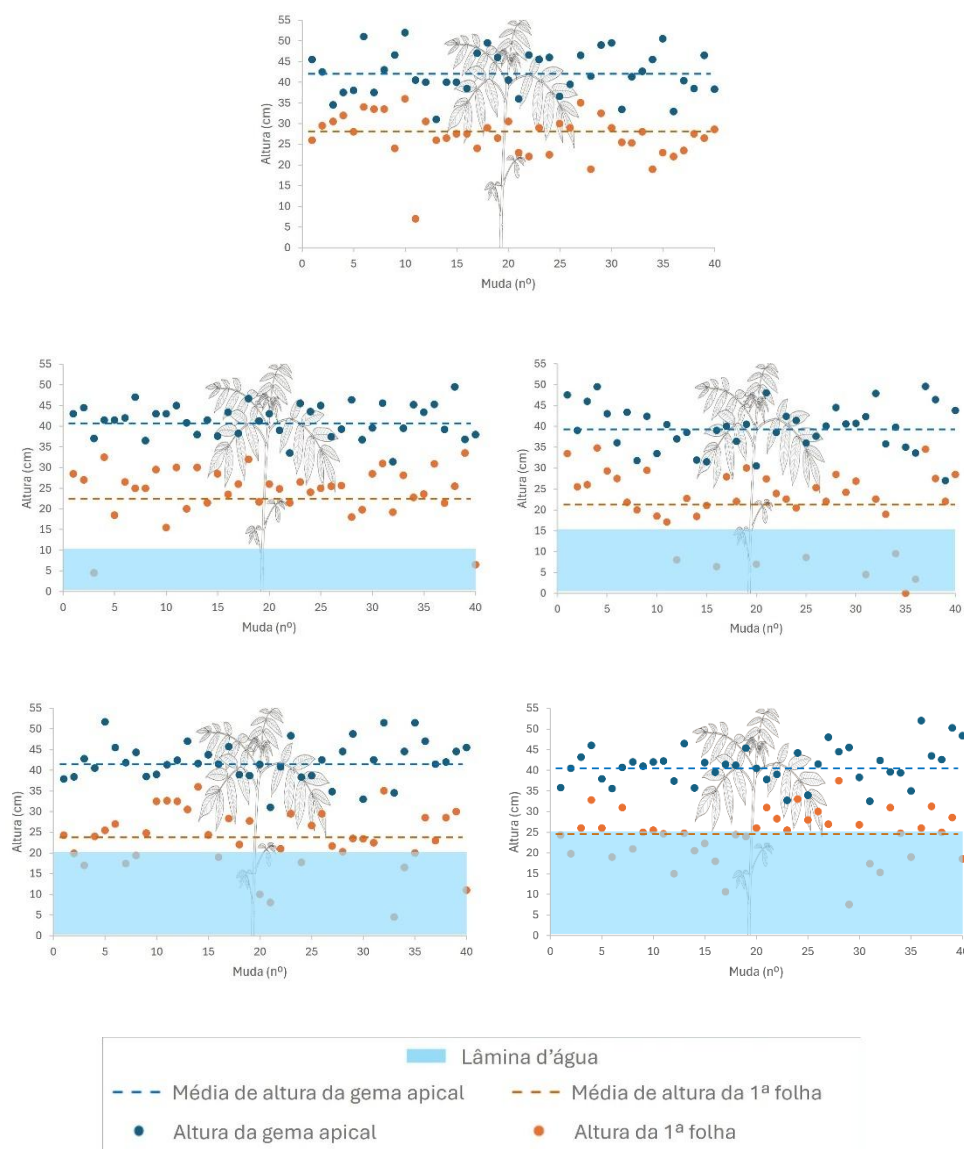


Figura 1: Gráfico de dispersão da altura da gema apical e da altura da inserção da primeira folha, das 40 mudas utilizadas nos 5 tratamentos, e a lâmina d'água (10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm e não inundadas) de cada tratamento. A inundação durou 30 dias.

Após 30 dias, foram mensuradas a altura de inserção da primeira folha (m), altura total (m) (parte mais alta da planta), altura da gema apical (m), número de folhas e diâmetro do coleto (mm) de todas as mudas (200). A sobrevivência foi contabilizada. Foram utilizadas 50% das plantas (100) para a obtenção da área foliar (AF). Destas, 40 plantas (20% do total) foram utilizadas para obtenção de massa seca de folhas (MSF), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca de raízes (MSR), massa seca total (MST), obtida pela soma de MSPA e

MSR, índice de qualidade de Dickson (IQD) e análises de lenticelas. Para as análises destrutivas, foram selecionadas as duas plantas por repetição, com valores de altura mais próximos à média de cada repetição.

De acordo Oliveira et al. (2015), Oliveira e Gualtieri (2017), Barbosa et al. (2021), Meli, Bettinardi e Brancalion (2021), Bogarín et al. (2023) e Feitosa et al. (2023), uma das estratégias de adaptação das plantas a ambientes hipóxicos, é o investimento em lenticelas para otimizar as trocas gasosas. Linné (2023) relataram a produção de lenticelas hipertrofiadas em mudas de cumbaru submetidas à inundação. Nessa mesma linha, Oliveira e Gualtieri (2017), Barbosa et al. (2021) e Meli, Bettinardi e Brancalion (2021), apenas mencionam a ocorrência de lenticelas em mudas de espécies florestais tropicais. Bogarín et al. (2023), por sua vez, contabilizaram lenticelas presentes em uma área de 0,25 m² na base de caules de mudas de espécies nativas do Cerrado e Pantanal, em estudo que avaliou o desenvolvimento de estruturas morfológicas e a tolerância à inundação.

Para as análises de lenticelas, o presente trabalho desenvolveu uma metodologia quantitativa de análise visual das lenticelas. O método consiste na classificação de facilidade de visualização das lenticelas ao longo do caule, da classe de visualização mais difícil para a mais fácil. A essas classes, são atribuídos valores. Os caules das mudas foram seccionados em três partes de tamanhos aproximadamente iguais. Os caules seccionados foram fotografados em seguida, junto a uma régua graduada. As imagens foram devidamente identificadas para realização das análises sobre as mesmas (Figura 2). Ressalta-se que a coleta de dados foi realizada por uma única pessoa, reduzindo erro em decorrência da subjetividade do avaliador.



Figura 2: Caule de muda de *Dipteryx alata* Vogel seccionado em terço inferior (a), terço médio (b) e terço superior (c), devidamente identificada para análise de visualização de lenticelas a partir de imagem.

A avaliação das lenticelas foi realizada do terço inferior (porção basal), e terço médio de cada caule. Adotou-se um critério quantitativo de avaliação visual das lenticelas através de uma escala de valores de visualização: 1 – lenticelas não visíveis ou muito pouco visíveis; 2 – lenticelas pouco visíveis e, 3 – lenticelas bastante visíveis (Figura 3). Em seguida, mediante observação visual ao longo do caule, foram atribuídos valores de “1”, “2” ou “3”, de acordo com a facilidade de visualização de lenticelas por trecho.



Figura 3: Trechos de caules de mudas de *Dipteryx alata* Vogel representativos dos valores da escala de visualização adotada: 1 – lenticelas não visíveis ou muito pouco visíveis; 2 – lenticelas pouco visíveis e, 3 – lenticelas bastante visíveis.

Por exemplo, vamos considerar uma muda cujo terço inferior do caule tenha comprimento de 15,0 cm. Se de 0,0 cm a 5,6 cm as lenticelas foram não visíveis ou muito pouco visíveis, atribui-se o valor 1, conforme a escala de valores de visualização; se de 5,6 cm a 13,0 cm as lenticelas foram pouco visíveis, atribui-se o valor 2 e, se de 13,0 cm a 15,0 cm as lenticelas foram bastante visíveis, atribuiu-se o valor 3. Para cada trecho avaliado foi atribuído um peso relativo, com base no comprimento total. Conforme o exemplo, o primeiro trecho (5,6 cm de comprimento) corresponde a 37,33% do comprimento total (15,0 cm), tendo peso de 0,37. Com base nos valores da escala de visualização de lenticelas atribuídos a cada trecho do caule, e no comprimento relativo de cada trecho, é gerado o índice de visualização de lenticelas (IVL). Sendo assim, o IVL é calculado pelo somatório do produto do valor da escala de valores de visualização pelo peso do trecho observado, conforme equações *a* e *b*:

$$a) PT = CT \div CTI$$

$$b) IVL = \sum (EV \times PT)$$

Onde:

CT = comprimento do trecho observado;

CTI = Comprimento total do terço do caule em avaliação;

PT = peso do trecho observado;

EV = valor da escala de valores de visualização de cada trecho observado e,

IVL = índice de visualização de lenticelas

No exemplo dado, o IVL seria: $IVL = (1 \times 0,37) + (2 \times 0,49) + (3 \times 0,14) = 1,77$

Delineamento experimental e análises estatísticas

O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado (DIC), com 5 fatores compostos de 4 repetições (parcelas). Cada repetição foi formada

por 10 mudas, totalizando 40 plantas por tratamento, sendo 200 mudas no total. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Quando significativo, foi aplicado o teste de Tukey para comparação de médias. O nível de significância foi de 5% ($p < 0.05$). Além disso, foram realizadas análises de regressão.

Para investigar a resposta multivariada das mudas aos diferentes tratamentos de inundação, realizamos uma Análise de Componentes Principais (ACP) utilizando dados padronizados. A análise incluiu variáveis como DML, DMPA, DMR, DQI, perda foliar, perda de área foliar (%) e IVL (1º e 2º terços). Todas as variáveis foram escalonadas utilizando normalização por z-score para garantir comparabilidade. Os dois primeiros componentes principais foram retidos para explorar a distribuição dos indivíduos em um espaço dimensional reduzido. A PCA foi utilizada não apenas para reduzir a complexidade dos dados, mas também para visualizar diferenças nos padrões de resposta das plantas em nível de tratamento. As análises foram feitas Jamovi 2.6.26 e Excel.

Resultados

Sobrevivência e Lenticelas

Nossos resultados indicam que as mudas de cumbaru apresentaram 100% de sobrevivência, independentemente do nível de inundação, incluindo as mudas sem inundação. Quanto ao IVL, observamos uma tendência de aumento, com o aumento do nível da inundação, para as duas porções avaliadas dos caules: 1º terço e 2º (Figura 4).

O IVL das mudas inundadas foi significativamente superior ($p < 0,05$) ao IVL das mudas sem inundação, no primeiro terço dos caules. Os valores foram de 1,27, 2,22, 2,69, 2,24 e 2,64, para as mudas não inundadas, e níveis de inundação de 10, 15, 20 e 25 cm, respectivamente (Figura 4). O segundo terço dos caules apresentou uma diferenciação mais clara entre os tratamentos. Nesta porção, o IVL das mudas inundadas também foi significativamente superior ($p < 0,05$) ao IVL das mudas sem inundação, com exceção do tratamento de

menor nível de inundação (10 cm), que foi significativamente semelhante às mudas não inundadas. O maior nível de inundação se destacou com o maior valor de IVL. Os valores foram de 1,10, 1,28, 1,60, 1,68 e 2,24 para as mudas não inundadas, e níveis de inundação de 10, 15, 20 e 25 cm, respectivamente (Figura 4).

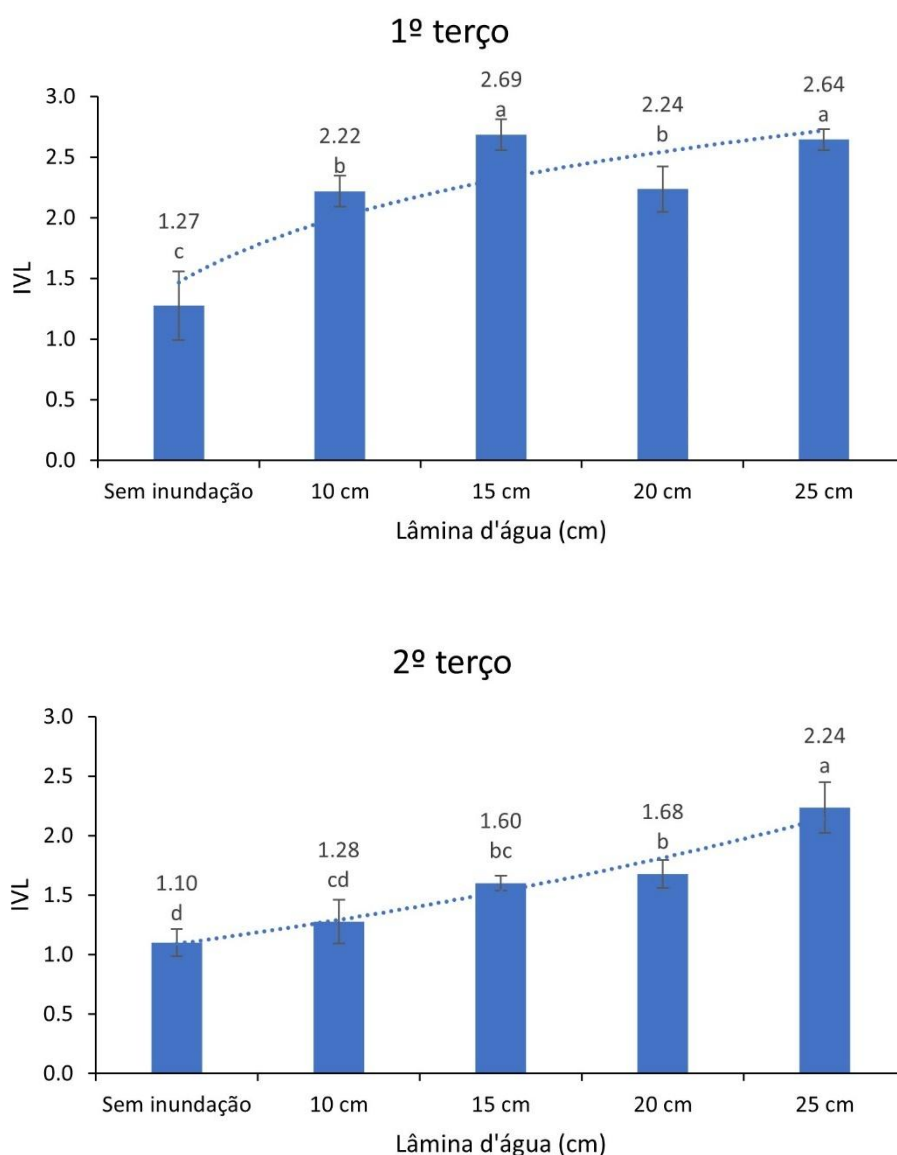


Figura 4: Índice de visualização de lenticelas (IVL), para mudas de *Dipteryx alata* Vogel, após 30 dias em diferentes níveis de inundação simulada. Houve diferença significativa pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

Perda de folhas

Apesar de não ter apresentado diferença significativa pela ANOVA ($p < 0,05$), em termos absolutos, a inundação provocou maior perda de folhas em comparação à testemunha, que perdeu apenas 0,33 folhas. As mudas sob maior grau de inundação perderam maiores quantidades de folhas. As perdas foram de 0,83, 1,03, 1,08 e 1,23 folhas para os tratamentos de 10, 15, 20 e 25 cm de lâmina d'água, respectivamente. Os resultados revelam tendência de aumento de perda foliar com o aumento da lâmina d'água, com modelo logarítmico apresentando R^2 elevado (0,97) (Figura 5).

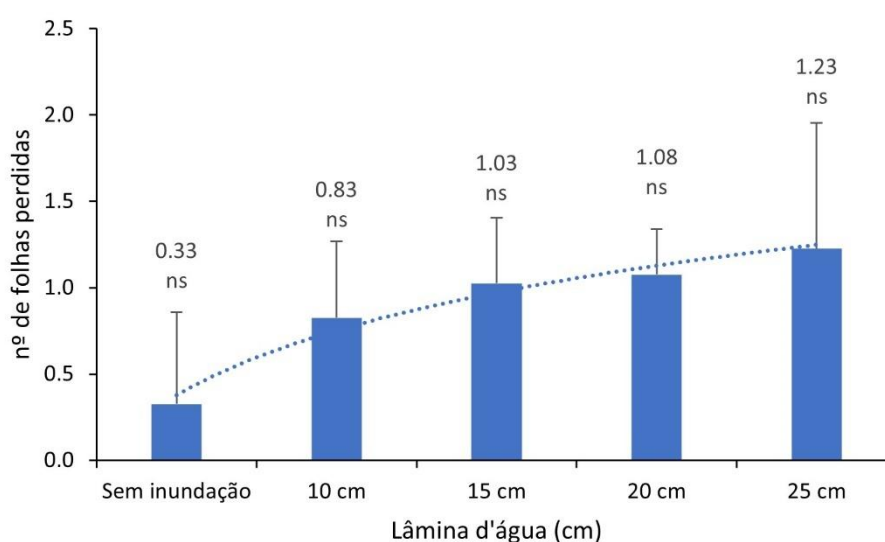


Figura 5: Número de folhas perdidas, para mudas de *Dipteryx alata* Vogel, após 30 dias de inundação simulada de diferentes níveis de inundação.

*Não houve diferença significativa pela ANOVA ($p < 0,05$).

Perda de área foliar

Os tratamentos não apresentaram diferença estatística (ANOVA; $p < 0,05$) para perda de AF. No entanto, apresentaram tendência de maior perda de AF com o aumento da altura da lâmina d'água (Figura 6), seguindo o padrão apresentado pelo número de folhas perdidas (Figura 5). De forma geral, a

inundação provocou maior perda de AF do que a testemunha (16,09%). As perdas de AF foram de 21,41, 33,75, 34,46 e 29,29% para os tratamentos de 10, 15, 20 e 25 cm de lâmina d'água, respectivamente, sendo que as mudas sob inundação menos intensa (10 cm), perderam menos AF do que as mudas sob inundação mais intensa. Os resultados revelam tendência de aumento de perda de AF com o aumento da lâmina d'água, com modelo logarítmico ($R^2 = 0,74$).

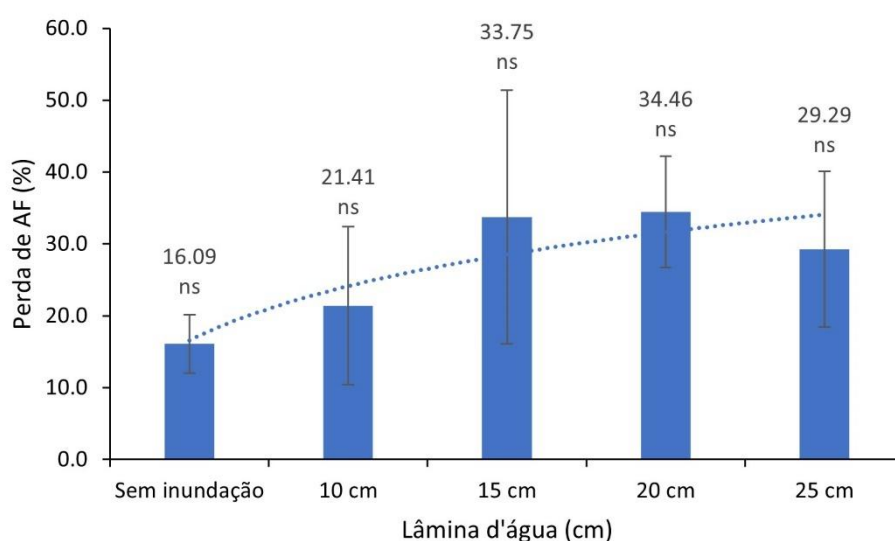


Figura 6: Perda de área foliar (AF), para mudas de *Dipteryx alata* Vogel, após 30 dias de inundação simulada de diferentes níveis de inundação.

*Não houve diferença significativa pela ANOVA ($p < 0,05$).

Massa seca de raízes, de folhas, da parte aérea, total e índice que qualidade de Dickson

Os valores de MSR, MSF e MSPA não apresentaram diferença significativa (ANOVA; $p < 0,05$). Os valores de MSR foram 16,66, 17,88, 13,61, 12,60 e 12,66 g para a testemunha e lâminas d'água de 10, 15, 20 e 25 cm, respectivamente. Os valores de MSF foram 5,52, 5,72, 4,84, 4,64 e 4,91 g, para a testemunha e lâminas d'água de 10, 15, 20 e 25 cm, respectivamente. A MSPA, que inclui caule e folhas, seguiu padrão semelhante ao MSF, com valores muito próximo entre todos os tratamentos, com exceção da lâmina d'água de 10 cm, que apresentou valor levemente superior, em termos absolutos. Os valores de

MSPA foram de 10,48, 12,77, 10,23, 9,70 e 10,04 g, para a testemunha e lâminas d'água de 10, 15, 20 e 25 cm, respectivamente (Tabela 1).

Tabela 1: Massa seca de raízes (MSR), massa seca de folhas (MSF) e massa seca da parte aérea (MSPA) para mudas de *Dipteryx alata* Vogel, após 30 dias de inundação simulada de diferentes níveis de inundação e sem inundação.

Tratamento	MSR (g)	MSF (g)	MSPA (g)
Sem inundação	16.66 ^{ns}	5.52 ^{ns}	10.48 ^{ns}
10 cm	17.88 ^{ns}	5.72 ^{ns}	12.77 ^{ns}
15 cm	13.61 ^{ns}	4.84 ^{ns}	10.23 ^{ns}
20 cm	12.60 ^{ns}	4.64 ^{ns}	9.70 ^{ns}
25 cm	12.66 ^{ns}	4.91 ^{ns}	10.04 ^{ns}

*Não houve diferença significativa pela ANOVA ($p < 0,05$).

As variáveis MST (Figura 7) e IQD (Figura 8) apresentaram diferença significativa (Tukey; $p < 0,05$). Os modelos de regressão para ambas as variáveis foram gerados apenas para os tratamentos de inundação, não sendo consideradas as plantas não inundadas. Ambas as variáveis apresentaram tendência de diminuição com o aumento do nível de inundação (Figura 7 e 8). Para MST, o modelo de regressão logarítmica apresentou R^2 de 0,87 e para IQD o R^2 foi de 0,93. Os valores são considerados elevados.

As mudas sujeitas aos maiores níveis de inundação apresentaram os menores valores de MST (22,30 e 22,70 g para as inundações de 20 e 25 cm, respectivamente), diferindo significativamente das mudas sem inundação (27,14 g). As mudas sob os níveis de inundação menores apresentaram valores (30,65 e 23,84 g para os níveis de inundação de 10 e 15 cm, respectivamente) significativamente semelhantes ao tratamento sem inundação (Figura 7).

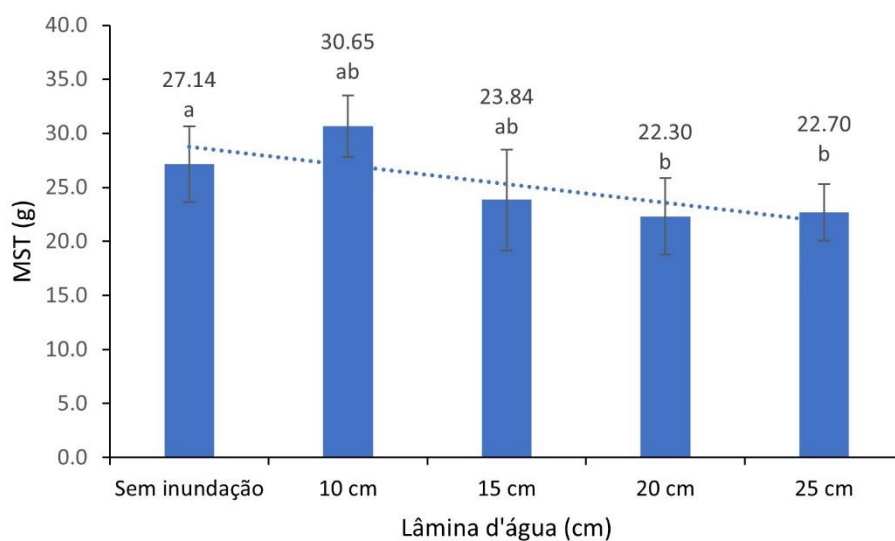


Figura 7: Massa seca total (MST), em g, para mudas de *Dipteryx alata* Vogel, após 30 dias de inundação simulada de diferentes níveis de inundação. Valores seguidos de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

*O modelo de regressão foi gerado apenas para os tratamentos de inundação, excluindo-se, portanto, o tratamento sem inundação.

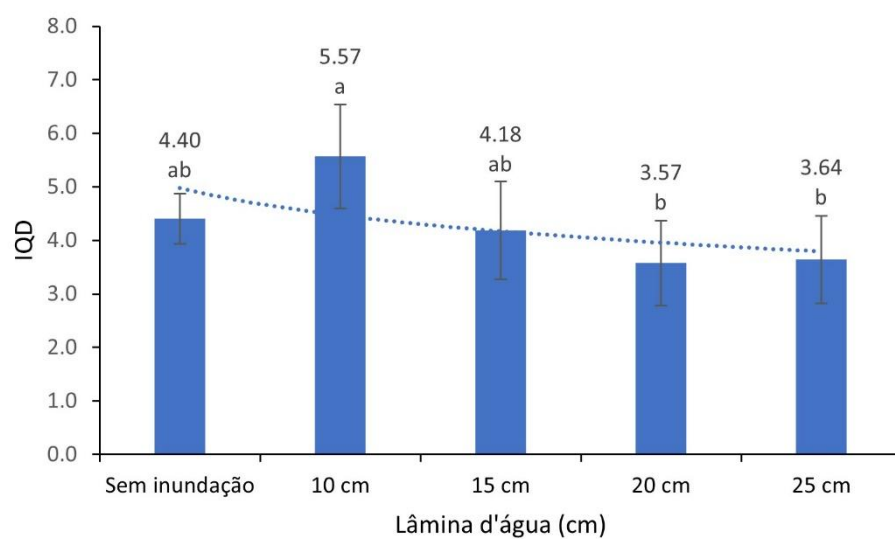


Figura 8: Índice de qualidade de Dickson (IQD) para mudas de *Dipteryx alata* Vogel, após 30 dias de inundação simulada de diferentes níveis de inundação. Valores seguidos de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

*O modelo de regressão foi gerado apenas para os tratamentos de inundação, excluindo-se, portanto, o tratamento sem inundação.

Os valores de IQD das mudas submetidas à inundação, para todos os tratamentos, foram significativamente semelhantes ($p < 0,05$) aos valores e IQD das mudas não inundadas. Os valores foram 4,40, 5,57, 4,18, 3,57 e 3,54 para a testemunha e lâminas d'água de 10, 15, 20 e 25 cm, respectivamente (Figura 8).

O primeiro componente principal (ACP1) explicou 51,9% da variância total, enquanto o segundo componente (ACP2) contribuiu com 18,5% adicionais, totalizando 70,4% da variância explicada pelos dois eixos (Figura 9).

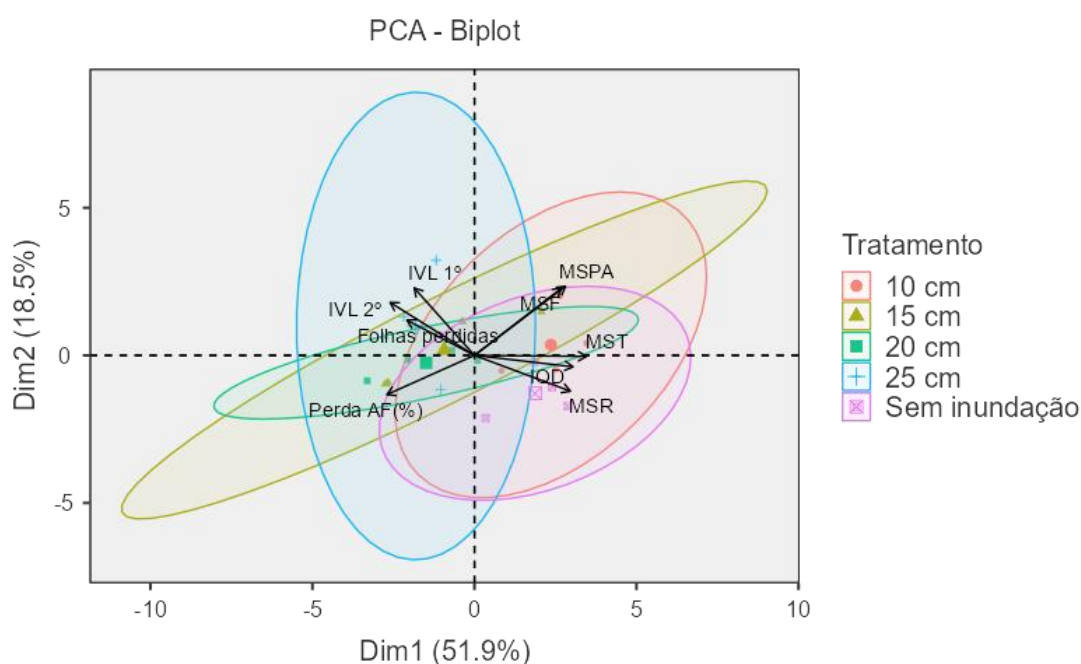


Figura 9: Gráfico biplot de análise de componentes principais (ACP) representando diferentes níveis de inundação e as variáveis mensuradas de mudas de *Dipteryx alata* Vogel: índice de visualização de lenticelas do 1º e 2º terço das mudas (IVL1º e IVL2º), perda de área foliar em porcentagem (perda AF(%)), massa seca foliar (MSF), da parte aérea (MSPA), de raízes (MSR), total (MST) e índice que qualidade de Dickson (IQD).

A análise de ACP revelou um agrupamento parcial, porém claro, dos indivíduos de acordo com os tratamentos de inundação. Os tratamentos com níveis mais elevados de inundação apresentaram separação em relação aos tratamentos não inundados e com menores níveis de inundação ao longo do ACP1. As variáveis que mais contribuíram para o PC1 foram MSR e MSPA, enquanto o ACP2 foi influenciado por IVL1º, IVL2º e perda foliar. Elipses

desenhadas em torno de cada grupo de tratamento demonstraram agrupamentos sobrepostos, porém distinguíveis, indicando que o aumento da profundidade de inundação está associado a mudanças morfológicas detectáveis nas mudas (Figura 9).

Discussão

Sobrevivência

Um resultado de importante destaque é a sobrevivência de 100% das mudas. Os resultados indicam que mudas de cumbaru são tolerantes à inundação, suportando lâmina d'água de até 25 cm, por 30 dias. De acordo com Bogarín et al. (2023), em experimentos de simulação de inundação, métodos com circulação de água apresentam menores níveis de hipoxia do que métodos em que a água fica estagnada, o que contribui para menores taxas de sobrevivência no segundo método. No nosso estudo, não houve circulação de água, o que contribui para maiores níveis de hipoxia no ambiente experimental. Mesmo assim o cumbaru apresentou 100% de sobrevivência, o que reforça a tolerância das mudas da espécie à inundação.

Os valores de sobrevivência obtidos no presente estudo são superiores aos valores encontrados para outras espécies do Cerrado e Pantanal. Oliveira et al. (2015) relataram mortalidade de 73,3% e 45,0%, após 30 dias de inundação, para mudas de *Aspidosperma macrocarpon* e *Kielmeyera coriácea*, respectivamente, espécies associadas a solos bem drenados do Cerrado. Ainda segundo os autores, mudas de *Copaifera langsdorffii* e *Myracrodruon urundeuva*, espécies comuns em solos secos, mas que podem ocorrer em solos onde o há proximidade do lençol freático com a superfície do solo, apresentaram menor sensibilidade à inundação, com sobrevivência de 100% e 92,9%, respectivamente. Bogarín et al. (2023) obtiveram valores de 55% a 97% de sobrevivência para 13 espécies do Cerrado e Pantanal após 56 dias de inundação. Podemos mencionar ainda a taxa de sobrevivência de mudas de 81% para *Cedrela fissilis* (Binoto et al, 2016) sob inundação.

Morais et al. (2021) e Linné et al. (2021) também realizaram estudo de simulação de inundação com cumbaru, com lâmina d'água de 5 cm, e relataram

sobrevivência de 78% aos 30 dias de inundação e 100% de sobrevivência de mudas, após 60 dias de inundação, respectivamente. De acordo com os autores, há indicativos de que a planta apresenta plasticidade. Espécies de árvores podem ter respostas diferentes ao estresse por hipóxia, no entanto, danos comuns como clorose foliar, enrolamento, desfolha, epinastia, abscisão foliar, escurecimento marginal, necrose, amarelamento, apodrecimento, murcha e abscisão de frutos eventualmente serão visíveis (McGee et al., 2021).

A espécie é sensível à inundação, porém, além alterações de ordem morfológica, como as apresentadas no presente estudo, ajustes metabólicos contribuem para resiliência e plasticidade, colaborando para a sobrevivência da planta em ambientes inundáveis. De maneira geral, a inundação gera alteração de processos fisiológicos e parâmetros bioquímicos, como a redução das trocas gasosas e eficiência quântica do fotossistema II (Linné et al., 2021; Linné et al., 2023 e Sousa et al., 2024).

No Quadro 1 são apresentadas respostas fisiológicas e bioquímicas de cumbaru à inundação, obtidas por estudos de simulação de inundação da espécie.

Quadro 1: Respostas fisiológicas e bioquímicas de mudas de *Dipteryx alata* Vogel ao estresse provocado por inundação.

— Diminuição em decorrência da inundação — Parâmetro
- níveis de clorofila a, b e clorofila total ³ - Índice de clorofila (SPAD) ¹ - coeficiente de extinção fotoquímica (qP) ³ - fração de centros de reação PSII abertos (qL) ³ - taxa fotossintética líquida (A) ^{1; 2 e 3} em 79,09% ¹ - eficiência quântica do fotossistema II (ΦPSII ou Fv/Fm)?? ^{1; 2 e 3} - condutância estomática ^{1; 2 e 3} - fluxo de elétrons utilizado para carboxilação (ETRc) ³ - eficiência da carboxilação (A/Ci) ^{1; 2 e 3} em 83,33% ¹ - fotorrespiração (PR) ³
— Aumento em decorrência da inundação — Parâmetro
- síntese de proteínas, com as folhas apresentando menores teores de proteínas totais ² - razão entre a respiração escura e a fotossíntese (Rdark /A) ³ - atividade das enzimas superóxido dismutases (SOD) ^{2 e 3}, peroxidase e ascorbato peroxidases ³

Fonte: 1 = (Linné et al., 2021), 2 = (Linné et al., 2023) e 3 = (Sousa et al., 2024)

Lenticelas

O cumbaru apresentou mecanismos de sobrevivência à inundação, com alterações de ordem morfológica (desenvolvimento de lenticelas) e fenológica (queda foliar). Ferreira et al. (1998) fez a descrição morfológica de mudas de cumbaru, indicando a ocorrência de lenticelas no caule, o que foi observado no presente estudo, nos caules das mudas sem inundação. No entanto, foi observado que as mudas investiram em lenticelas como estratégia de adaptação à condição de hipoxia. Os resultados indicaram que o nível de inundação influencia o desenvolvimento de lenticelas ao longo do caule. Quanto maior o nível de inundação, maior é o desenvolvimento de lenticelas, conforme indicado pelo IVL (Figura 4).

De modo geral, os valores de IVL das mudas inundadas foram significativamente superiores em relação aos valores apresentados pelas mudas sem inundação, para os 1º e 2º terços dos caules. Apenas o tratamento de 10

cm de inundação foi significativamente semelhante às mudas sem inundação, para o 2º terço do caule (Figura 4). Linné et al. (2023) mencionaram o surgimento de lenticelas hipertrofiadas em mudas de cumbaru sob inundação de 5 cm. O desenvolvimento de lenticelas por mudas de espécies florestais tropicais, inclusive do Cerrado e Pantanal, em resposta à inundação, foi relatado por Parolim (2001), Oliveira et al. (2015), Oliveira e Gualtieri (2017), Barbosa et al. (2021), Meli, Bettinardi e Brancalion (2021), Bogarín et al. (2023) e Feitosa et al. (2023).

Lenticelas hipertrofiadas são um tipo de resposta adaptativa a ambientes hipóxicos, conferindo plasticidade morfológica, que contribui para a sobrevivência à inundação. A formação de lenticelas, juntamente com raízes adventícias e o aumento da atividade de enzimas oxidantes, podem favorecer o resiliência do metabolismo fotossintético de mudas de espécies florestais (Barbosa et al., 2021). As lenticelas atuam como estruturas secundárias que substituem os estômatos não funcionais na função de ventilação. O novo entendimento dos processos celulares e metabólicos envolvidos no desenvolvimento das lenticelas fornece uma base para pesquisas futuras sobre os mecanismos moleculares que regulam esse desenvolvimento (Zhong et al., 2024). Apesar de mudas florestais produzirem raízes adventícias como resposta à inundação (Parolin, 2001; Oliveira e Gualtieri, 2017), fenômeno também relatado em mudas de cumbaru (Linné et al., 2023), no presente estudo não foi observado raízes adventícias.

Fenologia foliar e perda de AF%

Foi constatada a influência do nível de inundação sobre a abscisão foliar. Os resultados revelam tendência de aumento de perda de folhas com o aumento da lâmina d'água, com R^2 elevado (0,97). Em comparação às mudas sem inundação, as mudas inundadas perderam 2,56 e 3,73 vezes mais folhas, nos níveis de inundação de 10 cm e 25 cm (respectivamente) (Figura 5).

Oliveira et al. (2015) também observaram queda foliar como resposta à inundação em mudas de *A. macrocarpon* e *K. coriácea*, espécies associadas a solos bem drenados do Cerrado. Diferente dos resultados obtidos no presente

estudo, as espécies não apresentaram sinais de adaptação relativos a traços funcionais associados à facilitação da oxigenação. De fato, espécies diferentes podem apresentar respostas distintas à inundação (Oliveira et al., 2015) e as respostas podem variar em função da intensidade e amplitude da inundação (Ribeiro et al., 2021).

A perda de folhas como estratégia de mudas de espécies arbóreas tropicais, para sobreviverem à inundação, tem sido relatado na literatura. Parolin (2001) relatou perda de folhas para espécies de Amazônia e Bogarín et al. (2023) relataram o mesmo para espécies arbóreas do Cerrado e Pantanal como adaptação à inundação. Binotto et al. (2016) também relataram perda folhas para *Cedrela fissilis* Vell.. Assim como a queda foliar, a diminuição da emissão de novas folhas pode ser uma resposta de mudas à inundação para espécies típicas de solos inundáveis, como a *Tabebuia aurea* (Oliveira e Gualtieri, 2017), espécie típica do Pantanal e que forma estandes monodominantes em áreas de intensa inundação (Bueno et al., 2014).

A inundação provocou perda de área foliar. Em comparação às mudas sem inundação, as mudas inundadas perderam 1,33 e 2,14 vezes mais folhas, nos níveis de inundação de 10 cm e 20 cm (respectivamente) (Figura 6). O ácido abscísico (ABA) desempenha um papel crucial na resposta das árvores a inundações, induzindo a perda foliar como estratégia para reduzir a transpiração e minimizar o estresse hídrico em condições de hipóxia radicular. Embora o ABA tenha um papel negativo no crescimento e desenvolvimento das plantas, ele exerce uma função positiva na modulação das respostas das plantas à hipóxia e na recuperação desse estresse (Xie et al., 2021). Além disso, a síntese de ABA nas raízes regula a abertura e o fechamento estomático. Esse ajuste ajuda as plantas a se adaptarem à hipóxia na zona radicular (Gonzalez-Guzmán et al., 2021).

Massa seca total, foliar, da parte aérea, de raízes e índice que qualidade de Dickson

Os menores níveis de inundação (10 e 15 cm) foram significativamente semelhantes (Tukey; $p < 0,05$) à mudas sem inundação para MST, enquanto os

maiores níveis de inundação (20 e 25 cm) se diferenciaram com os menores valores (Figura 7). As variáveis MSR, MSF e MSPA não apresentaram diferenças significativa (ANOVA; $p < 0,05$) (Tabela 1).

As mudas sob os menores níveis de inundação (10 e 15 cm) não difeririam significativamente das mudas não inundadas quanto ao IQD, enquanto as mudas sob maiores níveis de inundação (20 e 25 cm) diferiram das mudas não inundadas. No trabalho de Linné et al. (2023), o IQD de mudas de cumbaru inundadas por 40 dias, sob lâmina d'água de 5 cm, não diferiu das mudas não inundadas, porém, o IQD diminuiu com 60 dias de inundação.

Apesar de ainda não haver uma compreensão clara das funções dos mecanismos epigenéticos nas respostas de vegetais a estresses bióticos (Chang et al., 2020), sabe-se que tais mecanismos estão envolvidos nas respostas das plantas a estresses (Chang et al., 2020, Siddique et al., 2024), assim como genes responsivos (Siddique et al., 2024). Podem acontecer alterações a nível de transcrição, decorrente da alteração nas histonas, como resposta a estresse (Yung et al., 2021).

As plantas podem apresentar memória de exposição a estresse abiótico por vários dias ou semanas, relacionadas à memória de curto prazo, que as capacita a responder melhor a eventos de estresse biótico (Sadhukhan et al., 2022 e Yang et al., 2023). Porém, a memória a estresse pode se manifestar a longo prazo, sendo transmitida entre gerações, através de células germinativas, que se desenvolvem durante a exposição ao estresse. A memória de curto prazo é resultante de alterações transcriptômicas e metabolômicas nas células somáticas. É possível que ocorra acumulação de moléculas de sinalização específicas em um estado de dormência, como fatores de transcrição, que se ativam após estresse subsequente. Tais fenômenos moleculares se refletem em respostas fisiológicas, como redução da abertura estomática e diminuição da fotossíntese. A regulação epigenética da cromatina é responsável, em último nível, pelo controle de genes para a memória a estresse abiótico. Isto proporciona memória de curto prazo, assim como memória de longo prazo (entre gerações), através de células germinativas, que se desenvolvem durante os eventos de estresse (Sadhukhan et al., 2022).

O cumbaru apresenta memória à seca, o que deve estar ligado à história evolutiva de espécie, que é típica da Savana Brasileira (Cerrado), caracterizada por secas intensas e recorrentes (Alves et al., 2020). Assim como a espécie apresenta memória à seca, é possível que o mesmo aconteça ao estresse por inundação. No entanto, isto não foi avaliado no presente estudo e merece ser investigado, considerando o aumento dos eventos de inundação em decorrência das mudanças climáticas. Isto é importante no âmbito da ecologia e da conservação, mas também na produção, visando o melhoramento para produção em solos temporariamente inundáveis. Principalmente considerando que a espécie é mais sensível à inundação do que à seca (Sousa et al., 2024).

As plantas têm a capacidade de aprimorar seus sistemas através da memória de estresse, o que possibilita respostas mais rápidas ou intensas a estresses recorrentes. Dessa forma, investigar as marcas epigenéticas, entender o mecanismo de priming de estresse, além do estágio e da intensidade da aplicação, bem como gerenciar o equilíbrio da otimização do estresse entre a planta-mãe e sua progênie para o desenvolvimento da memória de estresse, será o foco das futuras pesquisas no melhoramento vegetal (Yang et al., 2023). Nesse sentido, devem ser realizados aprimoramentos de estudos visando o melhoramento de cumbaru visando maior resistência e adaptabilidade à inundação.

Conclusões

O cumbaru, na fase de muda, suporta inundação de até 25 cm de lâmina d'água, por 30 dias, com sobrevivência de 100%. A espécie apresenta plasticidade fenotípica e respostas adaptativas na fase de muda, respondendo a diferentes níveis de inundação. As mudas investem em lenticelas e abscisão foliar como estratégia de sobrevivência à hipoxia. A produção de lenticelas e queda de folhas aumentam à medida que o nível de inundação (hipoxia) aumenta.

Os resultados indicam que o cumbaru pode ser utilizado na restauração de áreas temporariamente inundáveis, assim como na arborização de pastagens com baixo grau de inundação, para formação de sistemas silvipastoris.

Referências

- ALFENAS, R. F.; ALEXANDRE, F. S.; PIROLLA, M. L. A.; ARRIEL, D. A. A.; ALFENAS, A. C. Doenças da teca no Brasil. *In*: REIS, C. A. F.; OLIVEIRA, E. B. de; SANTOS, A. M. (org.). **Teca (*Tectona grandis* L. f.) no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa, 2023. p. 448-480.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. D. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ALVES, R. D.; MENEZES-SILVA, P. E.; SOUSA, L. F.; LORAM-LOURENÇO, L.; SILVA, M. L.; ALMEIDA, S. E.; FARNESE, F. S. Evidence of drought memory in *Dipteryx alata* indicates differential acclimation of plants to savanna conditions. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 16455, 2020.
- BARBOSA, L. D. O.; DRESCH, D. M.; SCALON, L.; SCALON, S. D. P. Q. Ecophysiological strategies of *Cedrela fissilis* Vell. seedlings under conditions of flooding and light availability. **Journal of Sustainable Forestry**, v. 41, n. 9, p. 783-798, 2022.
- BARBOSA, M. L. F.; HADDAD, I.; NASCIMENTO, A. L. da S.; SILVA, G. M. da; VEIGA, R. M. da; HOFFMANN, T. B.; OIGHENSTEIN ANDERSON, L. Compound impact of land use and extreme climate on the 2020 fire record of the Brazilian Pantanal. **Global Ecology and Biogeography**, v. 31, n. 10, p. 1960-1975, 2022.
- BINOTTO, B.; ANTONIAZZI, A. P.; NEUMANN, G. M.; SAUSEN, T. L.; BUDKE, J. C. Tolerância de plântulas de *Cedrela fissilis* VELL. a diferentes amplitudes e intensidades de inundação. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 4, p. 1339-1348, 2016.
- BOGARÍN, M. R.; REIS, L. K.; LAURA, V. A.; POTT, A.; SZABO, J. K.; GARCIA, L. C. Morphological and phenological strategies for flooding tolerance in Cerrado and Pantanal trees: implications for restoration under new legislation. **Restoration Ecology**, v. 31, p. e13660, 2023.
- BUENO, M. L.; DAMASCENO-JUNIOR, G. A.; POTT, A.; PONTARA, V.; SELEME, E. P.; FAVA, W. S.; RATTER, J. A. Structure of arboreal and herbaceous strata in a neotropical seasonally flooded monodominant savanna of *Tabebuia aurea*. **Brazilian Journal of Biology**, v. 74, n. 2, p. 325-337, 2014.
- CAMPOS FILHO, E. M.; SILVA, R. de S. *Dipteryx alata* Vogel. *In*: PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; SILVA, J. M. S. (org.). **Silvicultura tropical: o potencial madeireiro e não madeireiro das espécies tropicais**. [S. l.]: Ed. dos Autores, 2021. p. 214-225.

CHANG, Y. N.; ZHU, C.; JIANG, J.; ZHANG, H.; ZHU, J. K.; DUAN, C. G. Epigenetic regulation in plant abiotic stress responses. **Journal of Integrative Plant Biology**, v. 62, n. 5, p. 563-580, 2020.

CUNHA NETO, F. V. da; CARVALHO, A. B. de M.; VALENTIM, S. M. S.; SOUSA, J. B. de; OLIVEIRA JUNIOR, E. S.; CASTRILLON, S. K. I. Crescimento e sobrevivência de *Dipteryx alata* Vogel em solo sujeito à inundação temporária: Aplicações na produção e restauração ecológica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 17, n. 4, p. 2315-2331, 2024.

FEITOSA, R. M. P.; BRAGHIN, L. D. S. M.; PASTORINI, L. H.; ROMAGNOLO, M. B. Variations in functional traits and resilience of *Inga vera* subsp. *affinis* under flooding and drought conditions. **Australian Journal of Botany**, 2023.

FERREIRA, R. A.; BOTELHO, S. A.; DAVIDE, A. C.; MALAVASI, M. D. M. Caracterização morfológica de fruto, semente, plântula e muda de *Dipteryx alata* Vogel-baru (Leguminosae Papilionoideae). **Cerne**, Lavras, v. 4, n. 1, p. 1-12, 1998.

GONZÁLEZ-GUZMÁN, M.; GÓMEZ-CADENAS, A.; ARBONA, V. Absciscic acid as an emerging modulator of the responses of plants to low oxygen conditions. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 661789, 2021.

JUNK, W. J.; NUNES DA CUNHA, C. Pasture clearing from invasive woody plants in the Pantanal: a tool for sustainable management or environmental destruction? **Wetlands Ecology and Management**, v. 20, p. 111-122, 2012.

LÁZARO, W. L.; OLIVEIRA-JÚNIOR, E. S.; SILVA, C. J. D.; CASTRILLON, S. K. I.; MUNIZ, C. C. Climate change reflected in one of the largest wetlands in the world: an overview of the Northern Pantanal water regime. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 32, p. e104, 2020.

LEITE, M. B.; XAVIER, R. O.; OLIVEIRA, P. T. S.; SILVA, F. K. G.; SILVA MATOS, D. M. Groundwater depth as a constraint on the woody cover in a Neotropical Savanna. **Plant and Soil**, v. 426, p. 1-15, 2018.

LINNÉ, J. A.; JESUS, M. V.; LIMA, V. T.; REIS, L. C.; DRESCH, D. M.; SCALON, S. P. Q.; SANTOS, C. C. Effects of shading on growth and photosynthetic metabolism in *Dipteryx alata* Vogel seedlings under flooding. **Brazilian Journal of Botany**, v. 44, p. 629-638, 2021.

LINNÉ, J. A.; JESUS, M. V.; LIMA, V. T.; REIS, L. C.; SANTOS, C. C.; SCALON, S. D. P.; DRESCH, D. M. Do *Dipteryx alata* Vogel seedlings recover the quality and the photosynthetic and antioxidant responses in the post-flooding? **Brazilian Journal of Biology**, v. 83, p. 1-11, 2023.

LÓPEZ-SAMPSON, A.; ANDRADE, H. J. Agroforestry systems in Latin America. **Agroforestry Systems**, v. 98, n. 5, p. 1075-1078, 2024.

MCGEE, T.; SHAHID, M. A.; BECKMAN, T. G.; CHAPARRO, J. X.; SCHAFFER, B.; SARKHOSH, A. Physiological and biochemical characterization of six *Prunus* rootstocks in response to flooding. **Environmental and Experimental Botany**, v. 183, p. 104368, 2021.

MELI, P.; BETTINARDI, M.; BRANCALION, P. H. Predicting flooding tolerance of native tree species to restore flooded forests. **Applied Vegetation Science**, v. 24, n. 1, p. e12535, 2021.

MELOTTO, A. M.; LAURA, V. A.; BUNGENSTAB, D. J.; FERREIRA, A. D. Espécies florestais em sistemas de produção em integração. *In*: BUNGENSTAB, D. J.; ALMEIDA, R. G.; LAURA, V. A.; BALBINO, L. C.; FERREIRA, A. D. (org.). **ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. p. 429-454.

MORAIS, J. F.; LIMA, J. B. de; SILVA, F. H. B. da; OLIVEIRA, P. C. de. Da Semente à Plântula: Fases Iniciais de *Dipteryx alata* Vogel (Fabaceae) Diferem na Tolerância ao alagamento. **Biodiversidade**, v. 20, p. 43-53, 2021.

OLIVEIRA, A. K. M. D.; GUALTIERI, S. C. J. Trocas gasosas e grau de tolerância ao estresse hídrico induzido em plantas jovens de *Tabebuia aurea* (Paratudo) submetidas a alagamento. **Ciência Florestal**, v. 27, p. 181-191, 2017.

OLIVEIRA, A. S. D.; FERREIRA, C. S.; GRACIANO-RIBEIRO, D.; FRANCO, A. C. Anatomical and morphological modifications in response to flooding by six Cerrado tree species. **Acta Botanica Brasilica**, v. 29, n. 4, p. 478-488, 2015.

OLIVEIRA, P. C.; PAROLIN, P.; BORGHETTI, F. Can germination explain the distribution of tree species in a savanna wetland? **Austral Ecology**, v. 44, n. 8, p. 1373-1383, 2019.

PAROLIN, P. Morphological and physiological adjustments to waterlogging and drought in seedlings of Amazonian floodplain trees. **Oecologia**, v. 128, p. 326-335, 2001.

POZER, C. G.; NOGUEIRA, F. Flooded native pastures of the northern region of the Pantanal of Mato Grosso: biomass and primary productivity variations. **Brazilian Journal of Biology**, v. 64, p. 859-866, 2004.

REISINGER, A.; CLARK, H. How much do direct livestock emissions actually contribute to global warming? **Global Change Biology**, v. 24, n. 4, p. 1749-1761, 2018.

RIBEIRO, J. W. F.; GONÇALO, R. R.; KOLB, R. M.; DENHAM, A. Waterlogging as an environmental filter to tree recruitment in tropical wet grasslands. **Australian Journal of Botany**, v. 69, n. 8, p. 543-553, 2021.

SADHUKHAN, A.; YOO, C. Y.; GOLAN, Y.; BURIAN, M.; KIRST, H.; WANG, Y.; DAS, S.; MOSQUINA, A.; FROMM, H. How do plants remember drought? **Planta**, v. 256, n. 1, p. 7, 2022.

SALEEM, M. H.; MFARREJ, M. F. B.; KHAN, K. A.; ERCISLI, S.; ELSHARKAWY, M. M.; FAHAD, S. Advances in Physiochemical and Molecular Mechanisms of Abiotic Stress Tolerance in Plants. **Journal of Crop Health**, p. 1-15, 2024.

SANTOS, P. E. T. dos; PALUDZYSZYN FILHO, E. Critérios para escolha de eucaliptos para plantio. *In*: SANTAROSA, E.; PENTEADO JUNIOR, J.; GOULART, I. C. G. dos R. (org.). **Transferência de tecnologia florestal: cultivo**

de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 23-26.

SIDDIQUE, A. B.; PARVEEN, S.; RAHMAN, M. Z.; RAHMAN, J. Revisiting plant stress memory: Mechanisms and contribution to stress adaptation. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 30, n. 2, p. 349-367, 2024.

SOS-PANTANAL. **Cobertura do solo e uso de terra no Pantanal.** MapBiomass, 2021. Disponível em: <https://www.sospantanal.org.br/cobertura-do-solo-e-uso-de-terra-no-pantanal/>. Acesso em: set. 2021.

SOUSA, L. F.; MENEZES-SILVA, P. E.; BATISTA, P. F.; ALVES, A. P. S.; SILVA, M. C. A. P.; ALMEIDA, S. E. da S.; FARNESE, F. S. Environmental vulnerability index in *Dipteryx alata*: influence of abiotic stresses on central processes of plant physiology and metabolism. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 46, n. 3, p. 31, 2024.

THE JAMOVİ PROJECT. **jamovi.** (Version 2.6) [Software]. 2024. Disponível em: <https://www.jamovi.org>.

VILLALOBOS-VEGA, R.; SALAZAR, A.; MIRALLES-WILHELM, F.; HARIDASAN, M.; FRANCO, A. C.; GOLDSTEIN, G. Do groundwater dynamics drive spatial patterns of tree density and diversity in Neotropical savannas? **Journal of Vegetation Science**, v. 25, n. 6, p. 1465-1473, 2014.

XIE, R.; ZHENG, L.; JIAO, Y.; HUANG, X. Understanding physiological and molecular mechanisms of citrus rootstock seedlings in response to root zone hypoxia by RNA-Seq. **Environmental and Experimental Botany**, v. 192, p. 104647, 2021.

YANG, L.; LI, N.; LIU, Y.; MIAO, P.; LIU, J.; WANG, Z. Updates and prospects: morphological, physiological, and molecular regulation in crop response to waterlogging stress. **Agronomy**, v. 13, n. 10, p. 2599, 2023.

YUNG, W. S.; WANG, Q.; HUANG, M.; WONG, F. L.; LIU, A.; NG, M. S.; LAM, H. M. Priming-induced alterations in histone modifications modulate transcriptional responses in soybean under salt stress. **The Plant Journal**, v. 109, n. 6, p. 1575-1590, 2022.

ZABIN, C. J.; JURGENS, L. J.; BIBLE, J. M.; PATTEN, M. V.; CHANG, A. L.; GROSHOLZ, E. D.; BOYER, K. E. Increasing the resilience of ecological restoration to extreme climatic events. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 20, n. 5, p. 310-318, 2022.

ZHONG, Y.; HE, J.; LUO, F.; GUI, J.; SUN, J.; LI, L. The cellular and molecular processes of lenticel development during tree stem growth. **The Plant Journal**, v. 120, n. 2, p. 699-711, 2024.

Capítulo 3

Proposta metodológica de seleção de árvores matrizes, de espécies nativas, com características desejáveis para sistemas silvipastoris

Resumo

Uma vez que a pecuária é uma importante atividade emissora de gases de efeito estufa (GEE), a expansão dos sistemas silvipastoris poderá contribuir para redução das emissões de GEE pela atividade. Se a seleção de espécies é fundamental para o sucesso de um sistema silvipastoril, o melhoramento florestal é tão importante quanto, pois pode impulsionar ganhos silviculturais. No entanto, em geral, os trabalhos de melhoramento de espécies nativas e exóticas, desconsideram as especificidades dos sistemas silvipastoris, onde as árvores convivem com gramíneas e animais. Desta forma, o objetivo desse trabalho foi desenvolver uma metodologia de seleção de matrizes de árvores nativas, com características propícias para sistemas silvipastoris, visando subsidiar o desenvolvimento de programas de melhoramento de espécies, com foco em sistemas de integração. O desenvolvimento da metodologia teve como base o método de Salman, de seleção de espécies arbóreas da Amazônia para sistemas silvipastoris. O método foi adaptado, de maneira a ser aplicado para a seleção de matrizes de árvores nativas, com características desejáveis para sistemas silvipastoris. O método se baseia em atribuição de pontos (escores) a cinco variáveis dendrométricas das árvores: altura total (Ht), comprimento do fuste (Hf), diâmetro à altura do peito (DAP), comprimento de copa (Cc) e diâmetro de copa (Dc). Com base na média da população e no desvio padrão, são criadas quatro classes para cada variável. Para cada classe, é atribuído um escore, que varia de 2 a 5. Para cada variável, seguindo a lógica da metodologia de seleção de espécies de Salman, foi atribuída um peso relativo, conforme a relevância da variável. Os valores dos pesos de cada variável, foram definidos de forma proporcional aos pesos descritos na metodologia de Salman. Então gerada uma equação para o cálculo do índice de seleção arbórea (ISA). A equação de baseia no somatório dos produtos dos escores das variáveis pelos seus pesos relativos: $ISA = [E_{Ht} \times 2,30] + [E_{Hf} \times 2,30] + [E_{DAP} \times 2,30] + [E_{Cc} \times 1,55] + [E_{Dc} \times 1,55]$. As árvores devem ser ordenadas por ordem decrescente de ISA, para então selecionar as matrizes com os maiores valores. O método foi aplicado a uma população de 75 árvores de *Dipteryx alata*, de ocorrência isolada em uma pastagem. O método proposto é simples e objetivo, o que reduz subjetividades na seleção de matrizes em programas de melhoramento. O uso da metodologia pode possibilitar padronização de estudos, possibilitando comparação de resultados entre trabalhos distintos. A metodologia é uma importante contribuição para a fase de pré-melhoramento de espécies arbóreas nativas para uso em sistemas silvipastoris.

Palavras-chave: Melhoramento florestal; Pré-melhoramento; Ideótipo; Integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), Agrossilvicultura

Abstract

Since livestock farming is a major source of greenhouse gas (GHG) emissions, the expansion of silvopastoral systems could contribute to reducing GHG emissions from this activity. If species selection is crucial to the success of a silvopastoral system, forest tree breeding is just as important, as it can enhance silvicultural gains. However, in general, breeding programs for native and exotic species often overlook the specific conditions of silvopastoral systems, where trees coexist with grasses and livestock. Thus, the objective of this study was to develop a methodology for selecting native tree seed trees with traits suited for silvopastoral systems, in order to support the development of species breeding programs focused on integrated systems. The methodology was based on the Salman method, which is used for selecting tree species in the Amazon for silvopastoral systems. The method was adapted to be applied specifically to the selection of native tree seed trees with desirable characteristics for silvopastoral systems. The method is based on assigning scores to five dendrometric variables of the trees: total height (Ht), stem length (Hf), diameter at breast height (DBH), crown length (Cc), and crown diameter (Dc). Based on the population mean and standard deviation, four classes are created for each variable. Each class is assigned a score ranging from 2 to 5. For each variable, following the logic of the Salman species selection methodology, a relative weight was assigned according to the relevance of the variable. The weights of each variable were defined proportionally to those described in Salman's methodology. An equation was then generated to calculate the Tree Selection Index (ISA). The equation is based on the sum of the products of the scores of each variable by their respective weights: $ISA = [E_{Ht} \times 2,30] + [E_{Hf} \times 2,30] + [E_{DAP} \times 2,30] + [E_{Cc} \times 1,55] + [E_{Dc} \times 1,55]$. The trees should be ranked in descending order based on the ISA, and the seed trees with the highest values should be selected. The method was applied to a population of 75 *Dipteryx alata* trees, found isolated in a pasture. The proposed method is simple and objective, reducing subjectivity in the selection of seed trees for breeding programs. The use of this methodology can enable standardization of studies, allowing comparison of results between different works. The methodology is an important contribution to the pre-breeding phase of native tree species for use in silvopastoral systems.

Keywords: Forest improvement; Pre-improvement; Ideotype; Integrated Crop-Livestock-Forest Systems (ICLF); Agrosilviculture

Introdução

Nos sistemas silvipastoris (integração pecuária-floresta), duas atividades econômicas, a pecuária e a silvicultura, são realizadas concomitantemente. Esses sistemas de produção apresentam muitas vantagens em relação à pecuária convencional. A arborização de pastagens, formando sistemas silvipastoris, proporciona aumento da renda do produtor (Quintero et al., 2024), diversificação da produção, melhoria da ambiência animal e conforto térmico (Oliveira et al., 2018), com consequente aumento da produção de leite (Seidou et al., 2023 e Quintero et al., 2024) e carne (Paciullo et al., 2017).

Além desses benefícios econômicos, a introdução de árvores (principalmente leguminosas) nas pastagens proporciona diversos benefícios ambientais, como o incremento da ciclagem de nutrientes, beneficiando a qualidade de pastagem (Guamán-Riveraa et al., 2024), aumento dos teores de carbono orgânico no solo (Coêlho et al., 2024; Oliveira et al., 2025), recuperação da qualidade do solo (Guamán-Riveraa et al., 2024) e proporciona o sequestro e estoque de carbono na biomassa das árvores (Oliveira et al., 2025).

Uma vez que a pecuária é uma importante atividade emissora de gases de efeito estufa (GEE) (Reisinger e Clark (2018), a expansão dos sistemas silvipastoris poderá contribuir, em conjunto com outras ações globais, para redução das emissões de GEE pela pecuária (Aryal et al., 2022), ou ainda alcançar a Carne Carbono Zero, zerando a emissão de GEE pela pecuária (Mavisoy et al., 2024). Diante desse cenário, a expansão de sistemas silvipastoris parece ser uma tendência, pelo menos no Brasil, ainda que haja muito a se fazer nessa direção.

O país tem avançado em políticas e programas, que estimulam a arborização de pastagens, a exemplo da Política Nacional de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) (Lei nº 12.805 / 2013) (Brasil, 2013), e Plano Nacional de Conversão de Pastagens Degradadas em Sistemas de Produção Agropecuários e Florestas Sustentáveis - PNCPD) (Decreto 11.815 /2023) (Brasil, 2023).

Para o desenvolvimento da silvicultura de espécies nativas, nesse contexto a agrossilvicultura, é necessário desenvolver técnicas silviculturais e de

manejo (Cunha Neto et al., 2024). Além disso, é fundamental a escolha adequada das espécies arbóreas para os sistemas silvipastoris. Essa é considerada uma decisão de grande relevância para o sucesso de um sistema planejado (Oliveira et al., 2012). Nesse sentido, considerando a grande riqueza de espécies florestais da flora nacional, há muito trabalho a ser desenvolvido.

Se a seleção de espécies é fundamental para o sucesso de um empreendimento agrossilvicultural, o melhoramento florestal é tão importante quanto. O melhoramento florestal pode impulsionar ganhos silviculturais para espécies nativas (Santos et al., 2023). No entanto, observamos que, em geral, os trabalhos de melhoramento, tanto de espécies nativas quanto de exóticas, têm focado em características das árvores para uso em povoamentos homogêneos, como os trabalhos de Ishibashi et al. (2022), Andrade et al. (2020) e Santos et al. (2021), desconsiderando as especificidades do ambiente de produção silvipastoril. Nesse tipo de agroecossistema, as árvores estabelecem interações ecológicas harmônicas e desarmônicas com gramíneas e gado (ou outro animal de interesse), porém, as características intrínsecas às árvores, atreladas aos aspectos de manejo, devem potencializar a produtividade das forrageiras e dos animais.

Tendo como base o trabalho de Salman et al. (2012), que desenvolveu metodologia para seleção de espécies de árvores da Amazônia, para uso em sistemas silvipastoris, o objetivo desse trabalho foi desenvolver uma metodologia de seleção de matrizes de árvores nativas, com características propícias para sistemas silvipastoris, visando subsidiar o desenvolvimento de programas de melhoramento de espécies, com foco em sistemas de integração. Espera-se que o método contribua para a fase de pré-melhoramento de espécies arbóreas, podendo ser aplicado em populações base.

A seleção de matrizes possibilita a coleta de sementes e produção de mudas de melhor qualidade genética para realização de futuros testes de progênie, dando início a programas de melhoramento de espécies florestais nativas, para uso em sistema silvipastoris, além de possibilitar a identificação de matrizes superiores visando a produção de clones.

Materiais e métodos

O método de Salman et al. (2012), de seleção de espécies florestais da Amazônia para sistema silvipastoris

O desenvolvimento da metodologia que propomos nesse trabalho, teve como base o método de Salman et al. (2012), que se baseou em Kageyama e Fonseca (1979). Esses últimos propuseram uma metodologia, que visava o melhoramento de *Pinus taeda* L.. Um dos propósitos era padronizar o processo de seleção de árvores superiores e diminuir a subjetividade na escolha das árvores em programas de melhoramento.

Salman et al. (2012) perceberam que a metodologia era adaptável à seleção de espécies florestais amazônicas para sistemas silvipastoris e aplicaram o método adaptado para selecionar espécies nativas para sistemas silvipastoris. Os resultados foram publicados na obra *Guia Arbopasto: manual de identificação e seleção de espécies arbóreas para sistemas silvipastoris* (Andrade et al., 2012a), de publicação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) (uma parceria entre Embrapa Acre e Embrapa Rondônia), no capítulo intitulado *Guia de espécies* (Andrade et al., 2012b). A metodologia de seleção de espécies foi publicada no capítulo *Método de seleção de espécies arbóreas para sistemas silvipastoris* (Salman et al. (2012).

Ou seja, Salman et al. (2012) não propuseram metodologia para ser aplicada a programas de melhoramento, mas para selecionar espécies nativas da Amazônia com características desejáveis para sistemas silvipastoris. A metodologia é baseada na classificação das distintas espécies, considerando um conjunto de 15 características e na importância relativa (peso) desses atributos para sistemas silvipastoris. O método utiliza, portanto, critérios objetivos. Os autores realizaram ampla revisão de literatura e reunião técnica, com discussões entre a equipe de pesquisadores, para definição das características de interesse a serem avaliadas, citando Baccari Júnior (2001), Baggio e Carpanezzi (1988), Carvalho (1998), Pott (1993), Pott e Pott (2003) e Wildin (1990).

Na metodologia, após a pontuação de diversas características, calcula-se o valor do índice de seleção arbórea (ISA) (Equação a). Então, as

diferentes espécies são listadas em um ranque, em ordem decrescente de ISA, ou seja, da espécie de maior potencial para a espécie de menor potencial para utilização em sistemas silvipastoris. Veja o modelo matemático (Equação *a*) para o cálculo do ISA, proposto por Salman et al. (2012):

Equação *a*)

$$ISA = \sum(X_e \times X_p) / C$$

Em que:

X_e = Escore final (*e*) atribuído à espécie.

X_p = Peso (*p*) de uma característica (*X*) para o índice, conforme sua importância relativa.

C = Constante igual a 100, para que os valores obedeam à escala de valores entre 1 e 5.

O modelo pode ser expresso na seguinte Equação *b*:

Equação *b*)

$$ISA = [(FNe \times FNp) + (PAe \times PAp) + (FCe \times FCp) + (DCE \times DCp) + (QFe \times QFp) + (PRE \times PRp) + (Ipe \times IPp) + (RNe \times RNp) + (RFe \times RFp) + (PFe \times PFp) + (Pte \times PTp) + (Vce \times VCp) + (VMe \times VMp) + (NMe \times NMp) + (PMe \times PMp)] / 100$$

Em que, temos os valores dos escores relativos à:

- FNe = capacidade da espécie realizar fixação biológica de nitrogênio;
- PAe = porte (altura) das árvores da espécie;
- Fce = forma da copa da espécie;
- Dce = densidade da copa da espécie,
- QFe = *qualidade do fuste da espécie;
- Pre = presença de raízes superficiais da espécie;
- Ipe = grau de interferência no pasto da espécie;
- RNe = intensidade de regeneração natural da espécie em pastagens;
- RFe = tolerância da espécie ao fogo;

- PFe = potencial forrageiro dos frutos da espécie;
- PTe = potencial tóxico dos frutos da espécie;
- VCe = velocidade de crescimento da espécie;
- VMe = valor comercial da madeira da espécie;
- NMe = se a espécie produz produtos não madeireiros;
- PMe = facilidade de produção de mudas da espécie e,
- p = peso da característica em questão.

*A qualidade do fuste engloba características de comprimento do fuste e frequência de ocorrência de troncos bifurcados ou múltiplos

A equação proposta por Salman et al. (2012) pode ser aplicada com dois objetivos distintos, relativos às funções das árvores em sistemas silvipastoris. Um foco é o fornecimento de serviços múltiplos, o outro é produção comercial de madeira. Desta forma, os pesos atribuídos a cada uma das características citadas acima, variam de acordo com a função primária de interesse, a ser desempenhada pela espécie arbórea no sistema silvipastoril.

Na nossa proposta metodológica, nos baseamos nos pesos atribuídos por Salman et al. (2012) às características das espécies com foco na produção de madeira comercial, pois essa abordagem favorece as variáveis de menor interferência sobre a pastagem, minimizando o sombreamento excessivo. Além disso, possibilita selecionar indivíduos com características mais favoráveis à produção de madeira, o que pode proporcionar maior retorno econômico para o produtor. Ressalta-se, que isso não impede nem desfavorece o uso múltiplo das árvores, no caso de espécies produtoras de óleo, resina ou fruto de interesse comercial. O método apenas não utiliza essas características no processo de seleção. Sendo assim, apresentamos os pesos atribuídos a cada característica para produção de madeira comercial na metodologia dos referidos autores (Figura 1).

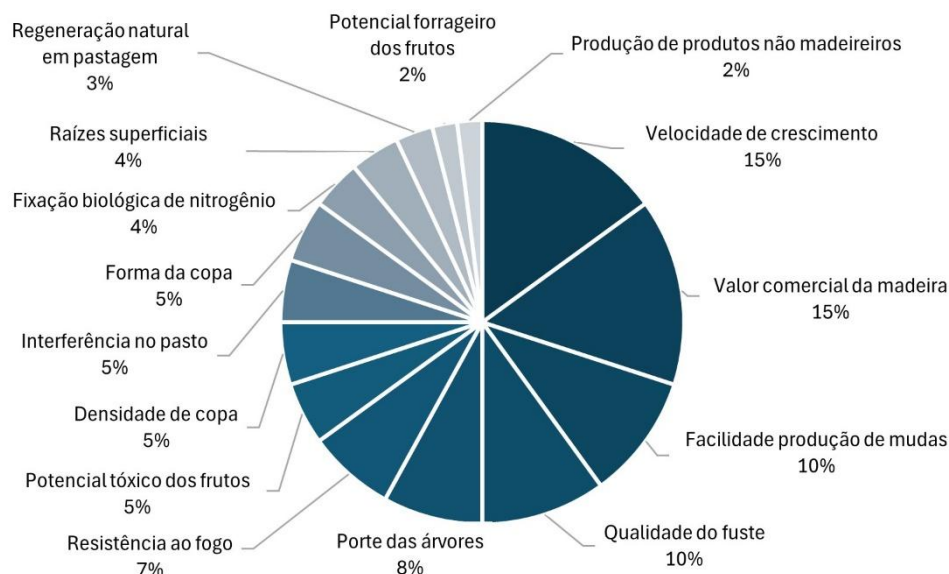


Figura 1: Peso de cada característica conforme sua importância relativa para a seleção de árvores visando a produção comercial de madeira em sistemas silvipastoris, segundo metodologia de Salman et al. (2012). Fonte: (adaptado de Salman et al., 2012)

A proposta metodológica para seleção de árvores matrizes com características desejáveis para sistemas silvipastoris

Salman et al. (2012) utilizaram um conjunto de 15 características. Observamos que 11 dessas características são aplicáveis ao se comparar árvores de espécies diferentes, pois tais características, como FNe (se a espécie faz fixação biológica de nitrogênio) e NMe (se a espécie produz produtos não madeireiros), variam entre espécies. Porém, tais características não se aplicam à seleção de árvores superiores de uma mesma espécie, uma vez que são características que não variam entre indivíduos de uma mesma espécie.

Sendo assim, para o desenvolvimento da metodologia, reduzimos o número de variáveis (características observáveis) da equação de Salman et al. (2012), passando a considerar apenas as variáveis relativas ao porte da árvore, fuste e madeira, e variáveis de copa, que refletem a interferência da árvore sobre o pasto. Observamos que os autores não utilizaram o diâmetro à altura do peito (DAP) como um parâmetro. Porém, decidimos incluir essa importante variável na metodologia, pois é uma variável dendrométrica fundamental e comum em programas de melhoramento e em inventários florestais em geral (Quadro 1).

Quadro 1: Variáveis utilizadas no método de Salman et al. (2012) e suas correspondentes, utilizadas na presente proposta metodológica, conforme as respectivas categorias das variáveis.

Categoria de variável	Método de Salman et al. (2012)	Proposta metodológica
Porte	Ht (Altura total)	Ht (Altura total) DAP (Diâmetro à altura do peito)
Fuste	QFe (Qualidade do fuste: comprimento do fuste e frequência de ocorrência de furcações)	Hf (Comprimento do fuste)
Madeira (valor comercial)	VMe (Valor comercial da madeira)	Como não há variação de valor comercial para uma mesma espécie, não foi adotada como parâmetro. No entanto, por ser uma variável importante, distribuímos seu peso relativo entre as variáveis Ht, DAP e Hf, seguindo a lógica proporcional de pesos de Salman et al. (2012).
Variáveis de copa (refletem a interferência da árvore sobre o pasto)	FCe (Forma de copa) DCe (Densidade de copa) *IPe (Grau de interferência da espécie sobre o pasto)	Cc Comprimento de copa Dc (Diâmetro de copa)

*IPe não é uma variável de copa, mas reflete o efeito da sombra da copa sobre a pastagem. Os autores avaliam a o grau de cobertura do solo por gramíneas sob as copas.

Na sequência, foi observado o peso proporcional atribuído por Salman ao conjunto de variáveis que se referem ao porte, fuste e madeira e à copa (interferência sobre a pastagem). Em seguida esses pesos foram distribuídos proporcionalmente entre as variáveis (Tabela 1 e Figura 2) e aplicados à

Equação c da presente proposta metodológica, mantendo, desta forma, a lógica proposta por Salman et al. (2012).

Tabela 1: Peso de cada variável e soma dos pesos das variáveis de Salman et al. (2012), e peso de cada variável correspondente e soma dos pesos das variáveis correspondentes da proposta metodológica.

Varáveis de Salman et al. (2012)	Peso da variável	Soma dos pesos das variáveis	Variáveis correspondentes da proposta metodológica	Peso da variável	Soma dos pesos das variáveis
Ht	1,70 (17,00%)	6,9 (69%)	Ht	2,30 (23,0%)	6,9 (69%)
QFe	2,10 (21,00%)		Hf	2,30 (23,0%)	
VMe	3,10 (31,00%)		DAP	2,30 (23,0%)	
FCe	1,03 (10,33%)	3,1 (31%)	Dc	1,55 (15,5%)	3,1 (31%)
DCe	1,03 (10,33%)		Cc	1,55 (15,5%)	
IPe	1,03 (10,33%)				

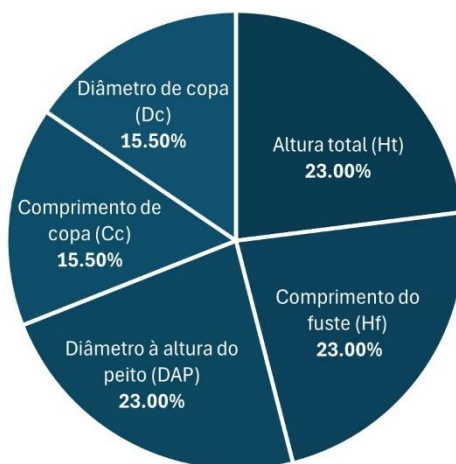


Figura 2: Peso de cada característica conforme sua importância relativa para a seleção de árvores visando a produção em sistemas silvipastoris, segundo a metodologia proposta.

A variável Vme (valor comercial de madeira) tem um peso (15%) relevante na proposta de Salman. De fato, não há variação de valor comercial da madeira para uma mesma espécie. No entanto, o valor comercial é uma variável que diz respeito à madeira, tendo relação, portanto, com altura, fuste e diâmetro da árvore. Desta forma, apesar de não ser uma variável dendrométrica, decidimos distribuir o seu peso, conforme Salman, de forma proporcional entre as variáveis relacionadas à madeira (Ht, Hf e DAP). Nesta mesma lógica, IPe não é uma variável de copa, mas reflete o efeito da sombra da copa sobre a pastagem. Desta forma, seu peso foi distribuído entre as variáveis de copa (Tabela 1 e Equação c).

Equação c)

$$ISA = (E_{Ht} \times 2,30) + (E_{Hf} \times 2,30) + (E_{DAP} \times 2,30) + (E_{Cc} \times 1,55) + (E_{Dc} \times 1,55)$$

Em que, temos os valores dos escores (E) relativos à:

Ht = altura total;

Hf = comprimento do fuste (altura da primeira furcação);

DAP = diâmetro a altura do peito (medido a 1,30 m a partir do nível do solo);

Cc = comprimento de copa (diferença entre a altura total e a altura da base da copa) e,
 Dc = diâmetro de copa (média dos diâmetros de copa obtidos no sentido Leste-Oeste e Norte-Sul).

Os valores dos escores para cada variável devem ser determinados para cada população de árvores estudada. Sendo assim, cada estudo deverá determinar o seus escores para as variáveis Ht, Hf, DAP, Cc e Dc, buscando indivíduos com características desejáveis superiores. São determinadas 4 classes de valores para cada variável, baseado na média e no desvio padrão da variável em questão, da população mensurada. Então são atribuídos escores de 2; 3; 4 e 5 para cada classe da variável (Tabela 1). Desta forma, o valor mínimo de ISA será 2 e o máximo 5.

Tabela 2: Classes de valores das variáveis altura total (Ht), comprimento do fuste (Hf), diâmetro à altura do peito (DAP), diâmetro de copa (Dc) e comprimento de copa (Cc), baseadas na média e desvio padrão de cada variável, com os respectivos escores.

Variável	Classes de valores da variável (x)	Escores
Variáveis de porte e fuste:	$x < (\text{média} - \text{desvio padrão})$	2
Ht	$(\text{média} - \text{desvio padrão}) \geq x < \text{média}$	3
DAP	$\text{média} \leq x < (\text{média} + \text{desvio padrão})$	4
Hf	$x \geq (\text{média} + \text{desvio padrão})$	5
-----	Classes de valores da variável (x)	Escores
Variáveis de copa:	$x < (\text{média} - \text{desvio padrão})$	5
Dc	$(\text{média} - \text{desvio padrão}) \geq x < \text{média}$	4
Cc	$\text{média} \leq x < (\text{média} + \text{desvio padrão})$	3
	$x \geq (\text{média} + \text{desvio padrão})$	2

É importante observar que, para Ht, DAP e Hf, os maiores valores das variáveis implicam em maiores escores, enquanto, para Dc e Cc, os maiores valores das variáveis implicam em menores escores (Tabela 2), pois copas mais amplas proporcionam mais sombra e, portanto, têm maior potencial de interferência negativa sobre a pastagem.

Após a definição dos escores para todas as variáveis da população em estudo, aplica-se a Equação c. Em seguida, as árvores são ordenadas por valores decrescentes de ISA para seleção das matrizes. Segue o passo a passo para aplicação da metodologia proposta de seleção de matrizes com características desejáveis para sistemas silvipastoris (Figura 3):

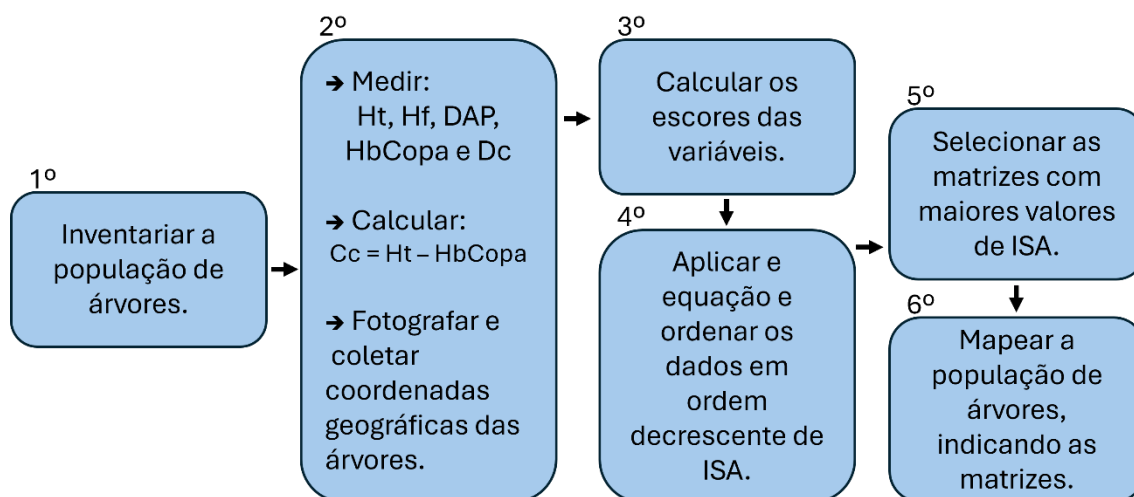


Figura 3: Passo a passo para seleção de árvores matrizes de espécies nativas de com características desejáveis para sistemas silvipastoris. Ht = altura total; Hf = comprimento do fuste; DAP = diâmetro à altura do peito; HbCopa = altura da base da copa; Dc = diâmetro de copa e, ISA = índice de seleção arbórea.

Validação do método

Para validação científica do método de seleção, foi aplicada uma Análise de Componentes Principais (PCA), seguida de agrupamento K-means com $k=3$, visando identificar padrões morfológicos e validar a robustez do índice ISA. Comparação de médias e matriz de correlação também foram empregados.

Resultados

Aplicamos a metodologia proposta em uma população de 75 indivíduos de *Dipteryx alata* Vogel (cumbaru), com árvores de idades distintas e desconhecidas, de distribuição isolada em uma pastagem de 30 ha submetida a inundações periódicas, em Cáceres – MT. Das 75 árvores, 7 foram descartadas

ainda no campo, por estarem quebradas ou agrupadas com outras árvores. O agrupamento de indivíduos indica uma condição de crescimento diferente, o que pode afetar as características dendrométricas e morfométricas das árvores, se comparado às árvores de maior isolamento (Vendruscolo et al., 2022). Desta forma, foram mensuradas 68 árvores.

Os escores para as classes de valores de cada variável estão dispostos na Tabela 3. Maiores valores de Ht, Hf e DAP implicam em maiores escores, enquanto maiores valores de Cc e Dc implicam em escores menores (Tabela 3).

Tabela 3: Escores das respectivas classes de valores das variáveis altura total (Ht), comprimento do fuste (Hf), diâmetro à altura do peito (DAP), diâmetro de copa (Dc) e comprimento de copa (Cc).

Variável	Classes de valores da variável	Escores
Ht	Ht < (6,27)	2
	(6,27) ≥ Ht < 8,61	3
	8,61 ≤ Ht < 10,95	4
	Ht ≥ 10,95	5
Hf	Hf < 1,32	2
	1,32 ≥ Hf < 2,86	3
	2,86 ≤ Hf < 4,41	4
	Hf ≥ 4,41	5
DAP	DAP < 20,27	2
	20,27 ≥ DAP < 29,02	3
	29,03 ≤ DAP < 37,77	4
	DAP ≥ 37,77	5
Classes de valores da variável		Escores
Dc	Dc < 5,74	5
	5,74 ≥ Dc < 8,18	4
	8,18 ≤ Dc < 10,63	3
	Dc ≥ 10,63	2
Cc	Cc < 4,21	5
	4,21 ≥ Cc < 5,81	4
	5,81 ≤ Cc < 7,41	3
	Cc ≥ 7,41	2

Foram selecionadas 20 matrizes (30% das árvores mensuradas) com base nos maiores valores de ISA. Os resultados estão dispostos na Tabela 4, com as árvores ordenadas em ordem decrescente de ISA.

Tabela 4: Índice de seleção arbórea (ISA), variáveis dendrométricas e respectivos escores para árvores de *Dipteryx alata* Vogel isoladas em pastagem inundável, em Cáceres – MT. As árvores estão em ordem decrescente de ISA e os valores em negrito indicam as árvores selecionadas como matrizes. Ht = altura total; Esc. = escore; Hf = comprimento do fuste; DAP = diâmetro à altura do peito; Dc = diâmetro de copa; Cc = comprimento de copa e, ^M = matriz.

Árvore	ISA	Ht (m)	Esc.	Hf (m)	Esc.	DAP (cm)	Esc.	Dc (m)	Esc.	Cc (m)	Esc.
1 ^M	4.3	11.6	5	6.7	5	33.5	4	6.9	4	7.3	3
2 ^M	4.1	8.8	4	4.9	5	35.5	4	8.2	4	6.9	3
3 ^M	4.1	10.5	4	6.0	5	37.4	4	7.8	4	6.6	3
4 ^M	4.1	11.9	5	4.6	5	43.0	5	11.0	2	9.6	2
5 ^M	4.1	16.9	5	8.1	5	51.1	5	10.7	2	9.4	2
6 ^M	4.0	9.3	4	4.6	5	26.7	3	7.6	4	5.8	4
7 ^M	4.0	8.7	4	4.9	5	24.4	3	6.5	4	4.9	4
8 ^M	4.0	9.6	4	4.2	4	30.8	4	5.3	5	6.6	3
9 ^M	3.9	10.5	4	4.7	5	37.3	4	9.3	3	7.0	3
10 ^M	3.8	9.3	4	3.0	4	32.8	4	7.5	4	7.2	3
11 ^M	3.8	9.0	4	4.4	4	30.4	4	6.3	4	6.4	3
12 ^M	3.8	7.9	3	3.1	4	30.0	4	8.0	4	5.7	4
13 ^M	3.8	11.3	5	3.0	4	36.6	4	9.6	3	9.0	2
14 ^M	3.6	6.2	2	1.6	3	34.2	4	4.6	5	3.2	5
15 ^M	3.6	9.6	4	3.7	4	28.1	3	7.4	4	7.4	3
16	3.5	8.4	3	3.7	4	22.5	3	7.6	4	5.5	4
17	3.5	7.8	3	3.0	4	27.0	3	6.0	4	5.0	4
18	3.5	6.8	3	2.0	3	29.3	4	6.1	4	4.6	4
19	3.5	11.5	5	3.4	4	26.6	3	8.5	3	8.6	2
20	3.5	6.4	3	1.9	3	23.6	3	7.0	4	4.2	5
21 ^M	3.5	9.7	4	2.4	3	34.6	4	8.1	4	7.6	2
22 ^M	3.5	10.3	4	2.3	3	33.4	4	7.5	4	7.5	2
23 ^M	3.5	9.5	4	1.6	3	36.8	4	10.0	3	7.4	3
24 ^M	3.5	9.1	4	2.0	3	33.3	4	9.5	3	6.8	3
25	3.5	8.8	4	2.2	3	32.8	4	10.1	3	6.6	3
26 ^M	3.5	8.6	3	1.5	3	38.6	5	10.4	3	6.4	3
27	3.4	5.7	2	2.7	3	21.3	3	5.0	5	3.3	5
28	3.4	7.6	3	2.5	3	29.7	4	9.3	3	5.4	4
29	3.4	7.1	3	2.2	3	29.3	4	8.4	3	5.0	4

Continua ...

Tabela 4: Continuação

Árvore	ISA	Ht (m)	Esc.	Hf (m)	Esc.	DAP (cm)	Esc.	Dc (m)	Esc.	Cc (m)	Esc.
30	3.3	8.1	3	2.4	3	26.4	3	7.2	4	5.6	4
31	3.3	6.8	3	2.2	3	24.2	3	7.2	4	4.6	4
32	3.3	6.5	3	1.7	3	26.6	3	7.8	4	4.4	4
33	3.3	9.5	4	1.0	2	38.6	5	9.9	3	7.7	2
34	3.2	9.6	4	1.1	2	32.0	4	9.8	3	7.4	3
35	3.2	8.9	4	2.1	3	26.1	3	9.1	3	6.9	3
36	3.2	9.1	4	1.8	3	26.3	3	9.1	3	6.4	3
37	3.2	5.5	2	2.4	3	11.6	2	4.8	5	3.6	5
38	3.2	5.9	2	1.6	3	18.0	2	5.3	5	3.3	5
39	3.2	4.5	2	2.1	3	17.5	2	5.6	5	2.5	5
40	3.2	7.8	3	2.2	3	25.6	3	10.5	3	5.7	4
41	3.2	6.9	3	2.0	3	26.8	3	8.5	3	5.1	4
42	3.2	6.5	3	2.2	3	22.0	3	9.3	3	4.7	4
43	3.1	7.4	3	1.9	3	18.2	2	8.1	4	5.4	4
44	3.1	7.1	3	2.0	3	18.0	2	8.1	4	5.3	4
45	3.1	7.2	3	2.0	3	18.5	2	6.7	4	5.2	4
46	3.1	6.4	3	2.0	3	16.6	2	7.0	4	4.4	4
47	3.0	6.2	2	1.3	2	27.3	3	7.0	4	4.0	5
48	3.0	5.0	2	2.5	3	13.0	2	6.2	4	2.4	5
49	3.0	8.4	3	2.0	3	23.4	3	10.3	3	6.6	3
50	3.0	7.9	3	2.4	3	28.1	3	9.2	3	6.0	3
51	2.9	6.5	3	2.3	3	20.0	2	8.3	3	4.6	4
52	2.8	9.0	4	0.5	2	25.2	3	12.7	2	6.8	3
53	2.8	5.8	2	1.0	2	20.1	2	6.2	4	3.9	5
54	2.8	8.3	3	1.0	2	22.4	3	9.4	3	6.3	3
55	----*	6.7	3	1.7	3	26.3	3	7.3	4	----	----
56	----*	13.8	5	3.8	4	52.3	5	12.9	2	----	----
57	----*	16.9	5	6.7	5	57.1	5	10.6	3	----	----
58	----*	8.2	3	4.1	4	25.5	3	6.0	4	----	----
59	----*	7.4	3	----	----	25.8	3	6.9	4	4.6	4
60	----*	7.4	3	----	----	28.6	3	6.5	4	4.7	4
61	----*	8.0	3	----	----	18.0	2	7.1	4	6.2	3
62	----*	7.5	3	----	----	19.6	2	8.4	3	5.6	4
63	4.5**	10.1	4	4.6	5	41.3	5	5.4	5	6.8	3
64	4.3**	12.5	5	4.6	5	34.1	4	7.9	4	6.8	3
65	4.1**	9.3	4	5.0	5	36.8	4	21.7	2	2.9	5
66	3.8**	9.3	4	3.0	4	35.1	4	7.6	4	6.3	3
67	3.8**	9.5	4	1.4	3	33.2	4	6.4	4	5.6	4
68	3.7**	9.7	4	2.2	3	38.3	5	9.6	3	7.0	3

* Não foi calculado o ISA devido à falta de dados de Hf ou Cc.

**Apesar dos elevados valores de ISA, essas árvores não foram escolhidas por apresentarem defeitos severos no tronco, copa ou inadequações fitossanitárias.

Os valores destacados em azul indicam os 20 maiores valores das variáveis (Ht, Hf e DAP), enquanto os valores destacados em verde indicam os 20 menores valores das variáveis (Dc e Cc), correspondendo a 30% dos indivíduos da população base.

Observa-se que as árvores 16 a 26 têm o mesmo valor de ISA (3,5) (Tabela 4). Como seleciona-se apenas 30% da população base, 20 indivíduos no presente caso, escolhemos as árvores com maiores valores de DAP entre as árvores 16 a 26 (Tabela 4). O DAP é a mais importante variável dendrométrica, comumente utilizada como variável preditiva de outras variáveis, como Ht (Schettini et al., 2021), e muitas vezes priorizada em trabalhos de seleção de árvores superiores.

Os gráficos de dispersão das variáveis das matrizes selecionadas e das demais árvores, indicam a dimensão dos valores das variáveis selecionadas ou preteridas em relação à média da população (Figura 4). Ressalta-se, que para as variáveis Ht, Hf e DAP, os maiores valores são de interesse para a seleção, enquanto para as variáveis Dc e Cc é o contrário (Tabelas 2 e 3).

Com relação às características de interesse, considerando-se que são selecionados 30% dos indivíduos de uma população base, a metodologia selecionou 22,1%, 20,6%, 20,5% dos maiores valores de Ht, Hf, DAP, e apenas 8,8% e 2,9% dos menores valores de Dc e Cc da população (Figura 4).

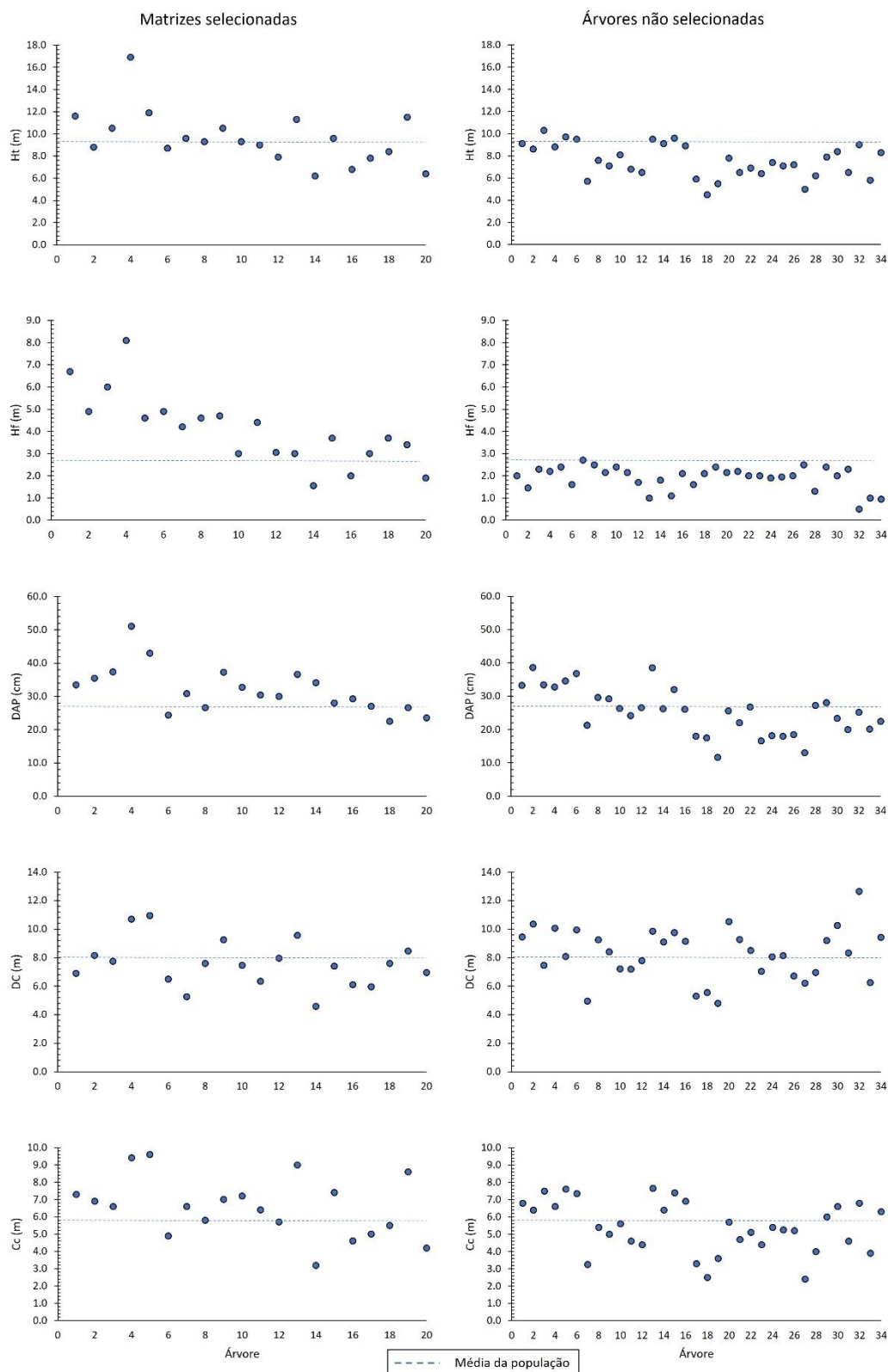


Figura 4: Dispersão de altura total (Ht), comprimento do fuste (Hf), diâmetro à altura do peito (DAP), diâmetro de copa (Dc) e comprimento de copa (Cc) para as matrizes selecionadas e para as árvores não selecionadas, em relação à média da população (matrizes + árvores não selecionadas).

Validação do método

A Ht tem alta correlação com Hf e DAP (≥ 0.80), indicando coerência no vigor estrutural das árvores. O ISA está fortemente correlacionado com Ht, Hf e DAP, o que reforça sua consistência como índice de seleção baseado em características de produção e estrutura. O Dc e Cc têm correlação entre si moderada (0.65), o que é esperado já que ambas representam a copa. Correlações com ISA confirmam que o índice pondera de forma equilibrada tanto vigor estrutural (Ht, Hf, DAP) quanto sombreamento (Dc, Cc) (Tabela 5).

Tabela 5: Matriz de correlação de Person para variáveis dendrométricas e índice de seleção arbórea (ISA) de árvores de *Dipteryx alata* Vogel isoladas em pastagem inundável, em Cáceres – MT.

	Ht	Hf	DAP	Dc	Cc	ISA
Ht	-					
Hf	0.85 **	-				
DAP	0.82 **	0.78 **	-			
Dc	0.60 *	0.50 *	0.55 *	-		
Cc	0.55 *	0.48 *	0.52 *	0.65 **	-	
ISA	0.75 **	0.73 **	0.77 **	0.58 *	0.54 *	-

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$

A análise de componentes principais (PCA) explicou 79,9% da variância total dos dados apenas com as duas primeiras componentes principais (**Figura 5**). A PC1 (61,3%) foi fortemente influenciada por Ht, Hf e DAP, refletindo o vigor estrutural e o potencial produtivo da árvore em termos de madeira (**Figura 5**). Já a PC2 (18,6%) foi mais sensível às variáveis de copa (Dc e Cc), associadas ao sombreamento e, portanto, à interferência sobre a produtividade da pastagem (**Figura 5**).

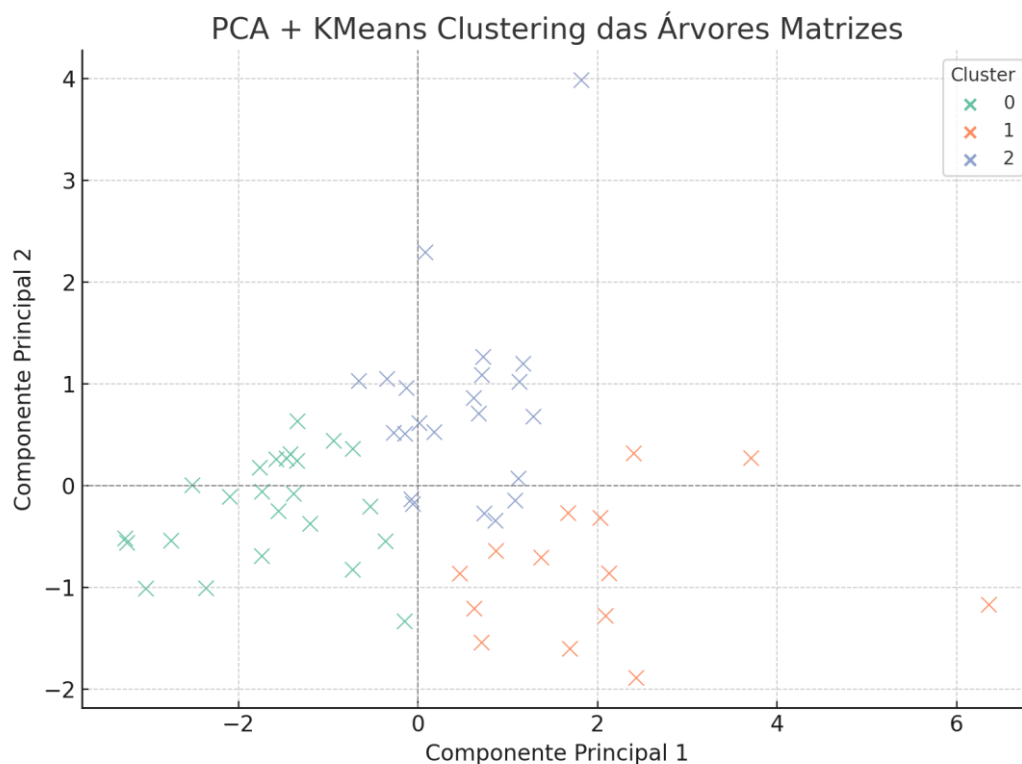


Figura 5. Análise de Componentes Principais com agrupamento K-means (k=3) para as árvores matrizes.

A análise de agrupamento (K-means) aplicada sobre as componentes principais da PCA revelou três grupos distintos de árvores com base em seus atributos dendrométricos (Figura 6). O Cluster 1 agrupou indivíduos com maiores médias de Ht, Hf e DAP, representando árvores mais vigorosas e com maior potencial produtivo de madeira. Essas árvores também apresentaram maior média de Cc. O Cluster 2 apresentou a maior média para Dc, caracterizando árvores com maior potencial de sombreamento. Já o Cluster 0 concentrou indivíduos com dimensões reduzidas tanto em vigor estrutural quanto em copa, sugerindo menor impacto na pastagem e menor produtividade. Essa estrutura corrobora os padrões observados nos componentes principais da PCA (Figura 6).

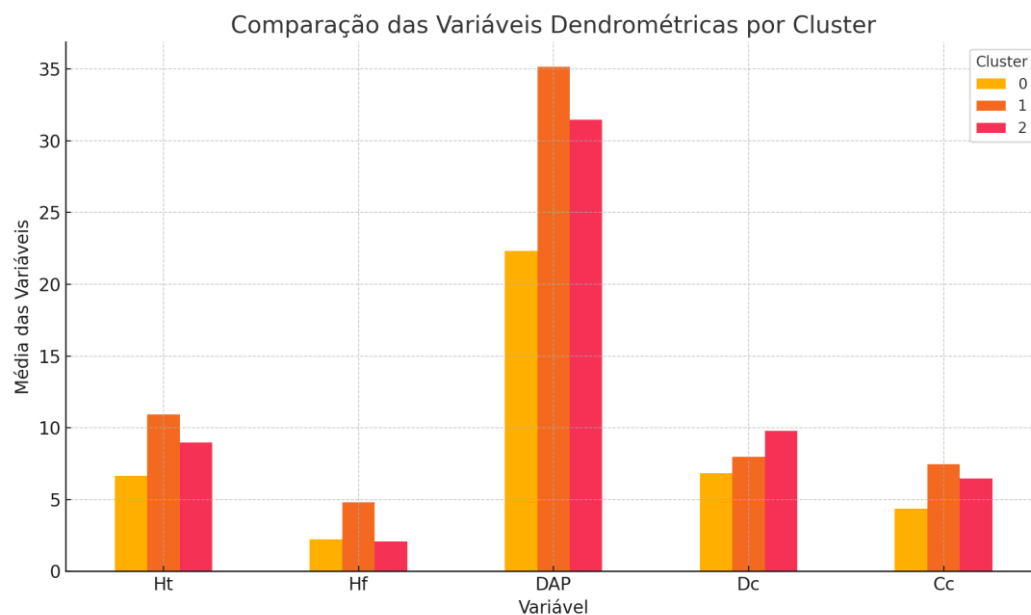


Figura 6. Gráfico de barras comparando as variáveis morfométricas entre os clusters.

A **Figura 7** apresenta o gráfico de *loadings* da Análise de Componentes Principais (PCA), que demonstra as contribuições das variáveis dendrométricas nas duas primeiras componentes principais. A primeira componente (PC1), responsável por 61,3% da variância total, concentra a maior parte da variabilidade associada ao vigor estrutural das árvores, o que está relacionado a características de Ht, Hf e DAP. Isso indica que essa componente reflete principalmente o potencial produtivo das árvores em termos de madeira.

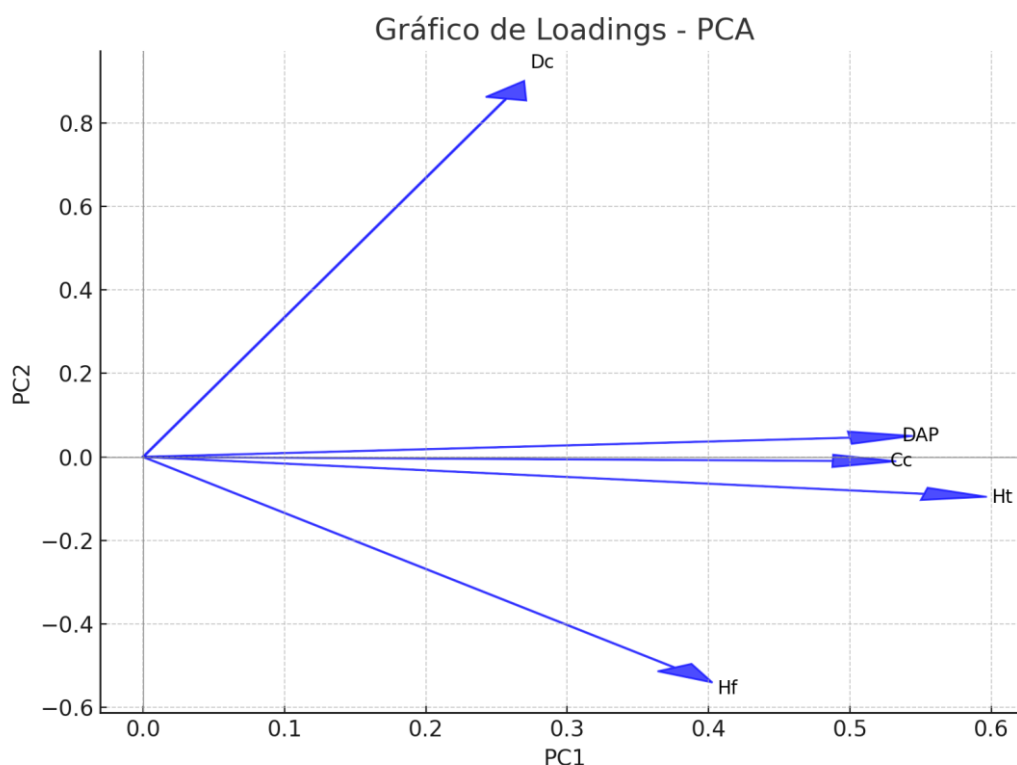


Figura 7: Gráfico de loadings da PCA evidenciando a contribuição de cada variável nos componentes principais.

Já a segunda componente (PC2), que explica 18,6% da variância, está mais associada às características de copa, especialmente em relação ao Dc, variável associada ao potencial de sombreamento. A direção dos vetores no gráfico evidencia essa separação entre as dimensões verticais e estruturais das árvores e os atributos de copa (**Figura 7**). Dessa forma, a distribuição das variáveis no espaço das componentes principais permite interpretar os diferentes aspectos morfológicos que distinguem os grupos formados a partir da PCA e do agrupamento por K-means, oferecendo subsídios relevantes para a seleção de matrizes com base em múltiplos critérios estruturais e ecológicos.

Discussão

É importante que se avance em tecnologia agrossilvicultural no que tange ao componente arbóreo para sistemas silvipastoris. Isto possibilitará um melhor

uso do espaço de produção, otimizando a produtividade e o manejo. Considerando a urgência ambiental global, em que a transformação dos sistemas convencionais de produção agropecuária se faz necessária, como a arborização de pastagens para transformação da produção pecuária convencional em sistemas silvipastoris, é importante que sejam desenvolvidos programas de melhoramento com foco nas características desses sistemas integrados de produção.

Em geral, a seleção de matrizes em programas de melhoramento florestal tem como finalidade a produção em povoamentos florestais homogêneos (Ishibashi et al., 2022; Andrade et al., 2020 e Santos et al., 2021). Desta forma, a seleção de matrizes em populações base, levam em consideração a produção nesses tipos de sistemas. Para atender à demanda silvipastoril, sugerimos a realização de programas de melhoramento florestal, visando a produção nesse tipo de agroecossistema.

Em sistemas silvipastoris, as árvores interagem com gramíneas e com o rebanho. Deve-se, portanto, buscar características de indivíduos em populações bases, que favoreçam essa interação de forma mais harmoniosa, potencializando a produtividade, evitando-se, por exemplo, excesso de sombreamento. Neste sentido, deve-se buscar indivíduos com características de copa, que favoreçam maior entrada de luz no sistema.

Esses fatores não podem ser isolados do aspecto econômico. Interessante observar que Ht, Hf e DAP são variáveis relacionadas à produção de madeira. Sendo assim, a seleção dessas características superiores favorece a produção de madeira, além da interação com as gramíneas e animais, potencializando o benefício econômico para o produtor.

Ambientes de pastagens mais velhas, com mais de 20 anos de formação e presença de árvores nativas isoladas, parecem ser áreas de estudos promissoras para a fase de pré-melhoramento (Salman et al., 2012). Nessas pastagens, ou sistemas silvipastoris não planejados, as árvores podem ser remanescentes de desmatamento, no início da formação das pastagens, ou ainda oriundas de regeneração natural (Salman et al., 2012; Silva et al. 2023).

Em ambos os casos, podemos considerar que as árvores, por estarem a um tempo considerável em ambiente aberto, manifestam fenótipo de copa e DAP típico de um ambiente de pastagem. Áreas antigas e abandonadas, em que houve regeneração natural de espécies arbóreas nativas em baixa densidade, também podem ser áreas de estudo promissoras.

O método proposto foi gerado visando proporcionar a seleção de múltiplas características propícias para produção de madeira em sistemas silvipastoris. No entanto, isso não impede o uso múltiplo das progênies, incluindo produção de produtos florestais não madeireiros (óleos, resinas, látex, frutos e castanhas) de valor econômico.

Como o método é baseado em um índice (ISA) de múltiplas variáveis, é normal que algumas árvores com algumas características superiores não sejam selecionadas. Como observado, nem todos os indivíduos com características superiores foram selecionados para todas as variáveis (Figura 4). O percentual de indivíduos superiores foi elevado para as variáveis de Ht, Hf, DAP (22,1%, 20,6% e 20,5%, respectivamente). No entanto, para as variáveis Dc e Cc, o percentual de indivíduos superiores representado foi baixo (8,8% e 2,9%, respectivamente). Isto pode ser explicado pelo maior peso das variáveis de porte e fuste em comparação às variáveis de copa no método de seleção proposto. Ressalta-se que foram selecionados 30% das árvores mensuradas.

Além da interação com a pastagem, a estrutura da copa das árvores é importante para o bem-estar do rebanho em sistemas silvipastoris (Aguiar Junior et al., 2021), através da melhoria do microclima proporcionado pela sombra das árvores. Apesar das variáveis de porte terem um peso maior na presente metodologia, as características de copa não foram negligenciadas, apesar do menor peso destas na equação apresentada (Equação c).

O agrupamento K-means sobre os escores padronizados da PCA revelou três grupos morfologicamente distintos de árvores, os clusters 0; 1 e 2 (**Figura 5**). O cluster 0 agrupou indivíduos com copas mais reduzidas e menores médias de Ht, Hf e DAP. O cluster 1 foi composto por árvores com maiores médias de Ht, Hf e DAP, além de apresentarem copas mais equilibradas (**Figura 6**). Este

grupo representa o ideótipo arbóreo ideal para sistema silvipastoril com foco econômico, pois favorece produtividade sem comprometer o pasto. De forma geral, o cluster 2 apresentou valores intermediários entre os grupos anteriores. (**Figura 6**).

A consistência dos clusters foi corroborada pelo gráfico de loadings da PCA (**Figura 7**), no qual as variáveis se distribuíram de forma coerente com sua interpretação funcional. As variáveis Ht, Hf e DAP apontaram fortemente na direção de PC1, enquanto Dc influenciou a PC2, validando as premissas do índice ISA e demonstrando que as ponderações utilizadas respeitam a estrutura estatística dos dados.

A classificação obtida por PCA + K-means (Figura 5) também pode ser considerada como uma validação funcional da metodologia ISA, pois mostrou que o índice consegue selecionar indivíduos que não apenas têm valores elevados, mas que também se organizam em perfis morfológicamente distintos com coerência ecológica e agrônômica. Isso representa uma robustez metodológica desejável para a aplicação do modelo em outras populações base, inclusive com potencial uso em outras espécies, além de *Dipteryx alata*.

Conclusões

O método de seleção de árvores proposto é simples e objetivo, o que reduz subjetividades na seleção de matrizes florestais em programas de melhoramento. O uso da metodologia pode possibilitar padronização de estudos, possibilitando comparação de resultados entre trabalhos distintos

O modelo proposto demonstrou-se tecnicamente válido, estatisticamente robusto e cientificamente coerente. Ele constitui uma ferramenta promissora para programas de pré-melhoramento florestal com foco na implantação e ampliação de sistemas silvipastoris, respondendo à crescente demanda por soluções sustentáveis no uso da terra.

Referências

- AGUIAR JUNIOR, A. L. de; ABREU, G. M.; OLIVEIRA NETO, S. N. de; SOUZA, D. M. S. C.; OBOLARI, A. D. M. M.; GUIRARDI, B. D.; MELO, L. A. de. Ideótipo arbóreo para Sistemas Agroflorestais. **Advances in Forestry Science**, v. 8, n. 1, p. 1349-1362, 2021.
- ANDRADE, H. S. F. D.; BARONI, G. D. R.; BRANCALION, P. H. S.; MORAES, M. L. T. D.; SILVA, P. H. M. D. Parâmetros genéticos de crescimento inicial e frutificação de *Dipteryx alata* Vogel em teste de progênie e espaçamento. **Scientia Forestalis**, v. 48, n. 126, p. 1-10, 2020.
- ARYAL, D. R.; MORALES-RUIZ, D. E.; LÓPEZ-CRUZ, S.; TONDOPÓ-MARROQUÍN, C. N.; LARA-NUCAMENDI, A.; JIMÉNEZ-TRUJILLO, J. A.; IBRAHIM, M. Silvopastoral systems and remnant forests enhance carbon storage in livestock-dominated landscapes in Mexico. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 16769, 2022.
- BRASIL. Lei n. 12.805, de 29 de abril de 2013. Institui a Política Nacional de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta e altera a Lei n. 8.171, de 17 de janeiro de 1991. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 1, 30 abr. 2013. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2013/Lei/L12805.htm. Acesso em: 16 jan. 2025.
- BRASIL. Decreto n. 11.815, de 05 de dezembro de 2023. Institui o Programa Nacional de Conversão de Pastagens Degradadas em Sistemas de Produção Agropecuários e Florestais Sustentáveis e o seu Comitê Gestor Interministerial. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 2, 6 dez. 2023. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/decreto/d11815.htm. Acesso em: 16 jan. 2025.
- COÊLHO, D. de L.; DUBEUX JR, J. C. B.; SANTOS, M. V. F. dos; MELLO, A. C. L. de; CUNHA, M. V. da; FREITAS, E. V. de; SIMILI, F. F. Can silvopasture with arboreal legumes increase root mass at deeper soil layers and improve soil aggregation? **Soil Science Society of America Journal**, v. 88, n. 6, p. 2211-2226, 2024.
- CUNHA NETO, F. V. da; CARVALHO, A. B. de M.; VALENTIM, S. M. S.; SOUSA, J. B. de; OLIVEIRA JUNIOR, E. S.; CASTRILLON, S. K. I. Crescimento e sobrevivência de *Dipteryx alata* Vogel em solo sujeito à inundação temporária: Aplicações na produção e restauração ecológica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 17, n. 4, p. 2315-2331, 2024.
- GUAMÁN-RIVERA, S. A.; HERRERA-FEIJOO, R. J.; VELEPUCHA-CAIMINAGUA, H. J.; AVALOS-PENAFIEL, V. G.; AGUILAR-MIRANDA, G. J.; MELENDRES-MEDINA, E. M.; CEDEÑO, J. Z. Silvopastoral systems as a tool for recovering degraded pastures and improving animal thermal comfort indexes in Northern Ecuador. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, p. e286137, 2024.
- ISHIBASHI, V.; JUNIOR, P. C. F.; MARTINEZ, D. T.; COELHO, A. S. G.; HIGA, A. R. Estratégias de seleção genética para silvicultura clonal em *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Scientia Forestalis**, v. 50, n. 30, p. 1-11, 2022.

KAGEYAMA, P. Y.; FONSECA, S. M. Metodologia para seleção e avaliação de árvores superiores de *Pinus taeda*. **Circular Técnica IPEF**, n. 55, p. 23-23, 1979.

MAVISORY, H.; VALLEJOS, A. R. R.; NARVÁEZ-HERRERA, J. P.; SÁNCHEZ, Á.; FANGUEIRO, D.; ALMEIDA, A. M. de. Using silvopastoral systems for the mitigation of greenhouse gas emissions from livestock in the Colombian Amazon. **Agroforestry Systems**, v. 98, n. 2, p. 337-352, 2024.

OLIVEIRA, C. C. de; ALVES, F. V.; ALMEIDA, R. G. de; GAMARRA, É. L.; VILLELA, S. D. J.; MARTINS, P. G. M. D. A. Thermal comfort indices assessed in integrated production systems in the Brazilian savannah. **Agroforestry Systems**, v. 92, p. 1659-1672, 2018.

OLIVEIRA, C. S. de; SANTOS, J. C. B. dos; SILVA, L. F. V. da; FREITAS, A. D. S. de; MEDEIROS, E. V. de; ALVES, M. J. G.; LIRA JUNIOR, M. A. A scientometrics analysis of silvopastoral systems: what we know and what we need to know? **Agroforestry Systems**, v. 99, n. 1, p. 9, 2025.

OLIVEIRA, T. K.; ANDRADE, C. M. S.; GHISI, O. M. A. A.; ASSIS, G. M. L. Sistemas silvipastoris: conceitos, benefícios e métodos de implantação. In: ANDRADE, C. M. S. *et al.* (org.). **Guia arbopasto: manual de identificação e seleção de espécies arbóreas para sistemas silvipastoris**. Brasília, DF: Embrapa, 2012. p. 345.

PACIULLO, D. S.; PIRES, M. F.; MÜLLER, M. D. Opportunities and challenges of integrated systems in animal production: emphasis on silvopastoral systems. **Archivos Latinoamericanos de Producción Animal**, v. 25, n. 1-2, 2017.

QUINTERO, R. G.; GARCÍA, E. H.; FLOREZ, F.; BURKART, S.; ARANGO, J. A case study on enhancing dairy cattle sustainability: The impact of silvopastoral systems and improved pastures on milk carbon footprint and farm economics in Cauca department, Colombia. **Agroforestry Systems**, v. 98, n. 8, p. 3001-3018, 2024.

REISINGER, A.; CLARK, H. How much do direct livestock emissions actually contribute to global warming? **Global Change Biology**, v. 24, n. 4, p. 1749-1761, 2018.

SALMAN, A. K.; ANDRADE, C. M. S.; GHISI, O. M. A. A.; ASSIS, G. M. L. Método de seleção de espécies arbóreas para sistemas silvipastoris. In: ANDRADE, C. M. S. *et al.* (org.). **Guia arbopasto: manual de identificação e seleção de espécies arbóreas para sistemas silvipastoris**. Brasília, DF: Embrapa, 2012. p. 56-90.

SANTOS, A. P. dos; NUNES, A. C. P.; CORRÊA, R. X.; MARQUES, F. G.; ROLIM, S. G.; CARVALHO SANTOS ROMÃO, K. de. Genetic diversity and selection gains in progeny tests of tropical forest species: a two-way road for the future. **New Forests**, p. 1-24, 2023.

SANTOS, T. S.; MARTINS, K.; AGUIAR, A. V.; BAPTISTA FILHO, M. J.; MENCUCELLI, J. R.; FARIA, R. F. P.; LONGUI, E. L. Growth and wood quality traits

in a *Dipteryx alata* Vog. (Fabaceae) progeny and provenance test. **Forest Science**, v. 67, n. 4, p. 468-477, 2021.

SCHETTINI, B. L. S.; JACOVINE, L. A. G.; OLIVEIRA NETO, S. N. D.; TORRES, C. M. M. E.; ROCHA, S. J. S. S. D.; VILLANOVA, P. H.; RUFINO, M. P. M. X. Silvopastoral systems: how to use them for carbon neutral milk production? **Carbon Management**, v. 12, n. 4, p. 377-384, 2021.

SEIDOU, A. A.; OFFOUMON, O. T. L. F.; SANNI WOROOGO, S. H.; HOUAGA, I.; KOARA YAROU, A.; AZALOU, M.; ALKOIRET TRAORÉ, I. The effect of the silvopastoral system on milk production and reproductive performance of dairy cows and its contribution to adaptation to a changing climate in the drylands of Benin (West-Africa). **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 7, p. 1236581, 2023.

SILVA, T. R.; RODRIGUES, S. B.; BRINGEL, J. B. de A.; SAMPAIO, A. B.; SANO, E. E.; VIEIRA, D. L. M. Factors affecting savanna and forest regeneration in pastures across the cerrado. **Journal of Environmental Management**, v. 330, p. 117185, 2023.

VENDRUSCOLO, D. G. S.; CUNHA NETO, F. V. da; FRAGA, I. M. Bark volume and thickness in teak trees with different spacings. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 42, 2022.

Capítulo 4

Morfometria de árvores isoladas de *Dipteryx alata* Vogel em pastagem inundável e não inundável, em povoamento homogêneo, e seleção de matrizes com características desejáveis para sistemas silvipastoris

Resumo

Apesar do potencial de uso de *Dipteryx alata* (cumbaru) nas diferentes modalidades de sistemas agroflorestais e em povoamentos homogêneos, as informações técnicas sobre a espécie são incipientes, de maneira que não há estudos sobre a morfometria de árvores da espécie. O conhecimento dos atributos morfométricos do baru poderá contribuir para recomendações de uso, espaçamento e manejo em sistemas silvipastoris, em plantios homogêneos e em agroflorestas. Os objetivos deste trabalho foram: (a) avaliar as características morfométricas de árvores isoladas de baru em pastagem sujeita à inundação temporária e pastagem sem inundação, visando subsidiar o uso e manejo da espécie; (b) avaliar as relações alométricas dos atributos morfométricos entre si e com o diâmetro à altura do peito; (c) Selecionar e mapear árvores matrizes de baru com características desejáveis para sistemas silvipastoris, possibilitando a coleta de sementes e produção de mudas de melhor qualidade genética potencial, além de possibilitar a produção de clones para realização de futuros testes de progênes, dando início a um programa de melhoramento da espécie. O estudo foi realizado em uma pastagem inundável (Pi) e uma pastagem não inundável (Pñi), com ocorrência de árvores isoladas, com idades distintas e desconhecidas, além de um povoamento homogêneo (PoH) não manejado de baru, de 25 anos. Foram coletados dados de variáveis dendrométricas e então calculados os parâmetros morfométricos das árvores. Em seguida foi feita a seleção de matrizes, através do índice de seleção arbórea (ISA) e o mapeamento da população de cumbaru. As árvores da Pñi são de maior porte em comparação às árvores da Pi, apresentando valores superiores para todas as variáveis dendrométricas. Quanto às árvores de PoH, estas apresentaram altura total (15,23 m) maior do Pñi (13,87 m) e Pi (8,58 m), enquanto o grau de esbeltez (0,85) de PoH, foi maior do que Pñi (0,28 e Pi (0,31). as árvores de Pñi e Pi se diferenciaram quanto aos valores de Pc e Fc. Ambiente inundável afeta negativamente o crescimento do cumbaru. Apesar disso, a espécie tem potencial de uso nesse tipo de condição edáfica, apresentando características mais propícias para produção de frutos (castanha) do que para produção de madeira. Em solo não inundável, as características do cumbaru apontam para uma maior aptidão para produção de madeira em comparação às árvores de solo inundável. As áreas abertas (Pñi) do IFMT Campus Cáceres constituem uma boa opção para coleta de sementes de cumbaru, pois abrigam uma população de mais de 100 árvores, protegidas do fogo, corte, e são acessíveis.

Palavras-chave: Integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF); Agrossilvicultura; Solo inundável; Manejo florestal; Melhoramento florestal

Abstract

Despite the potential uses of *Dipteryx alata* (commonly known as "cumbaru" or "baru") in various agroforestry systems and homogeneous plantations, technical information on the species remains scarce, with no existing studies on the tree morphometry of the species. Understanding the morphometric attributes of baru trees can support recommendations for their use, spacing, and management in silvopastoral systems, homogeneous plantations, and agroforests. The objectives of this study were to: (a) evaluate the morphometric characteristics of isolated baru trees in temporarily flooded pasture and non-flooded pasture, aiming to support the use and management of the species; (b) assess the allometric relationships among morphometric attributes and with the diameter at breast height (DBH); (c) select and map superior baru seed trees with desirable traits for silvopastoral systems, enabling seed collection and the production of seedlings with higher potential genetic quality, as well as allowing for the production of clones for future progeny tests, initiating a breeding program for the species. The study was conducted in a floodable pasture (Pi) and a non-floodable pasture (Pñi), both with the presence of isolated trees of varying and unknown ages, as well as in a 25-year-old unmanaged homogeneous baru plantation (PoH). Dendrometric data were collected, and tree morphometric parameters were calculated. Seed trees were selected using the Tree Selection Index (ISA), and the baru population was mapped. Trees in the Pñi area were larger than those in the Pi, showing higher values for all dendrometric variables. Trees in the PoH had a greater total height (15.23 m) compared to those in the Pñi (13.87 m) and Pi (8.58 m), while the slenderness ratio in PoH (0.85) was higher than in Pñi (0.28) and Pi (0.31). Trees from Pñi and Pi differed in their crown projection area (Pc) and crown form factor (Fc). Flooded environments negatively affect the growth of *Dipteryx alata*. Nevertheless, the species still shows potential for use in such edaphic conditions, demonstrating more favorable traits for fruit (nut) production rather than timber production. In non-flooded soils, the species displays characteristics that suggest better suitability for timber production compared to trees in flooded soils. The open areas (Pñi) at the IFMT Cáceres Campus are a good option for seed collection, as they host a population of more than 100 trees, protected from fire and logging, and are easily accessible.

Keywords: Integrated Crop-Livestock-Forest Systems (ICLF); Agrosilviculture; Floodable soil; Forest management; Forest improvement

Introdução

Apesar do potencial de uso de *Dipteryx alata* Vogel (cumbaru ou baru) nas diferentes modalidades de sistemas agroflorestais (Santos et al., 2024) e em povoamentos homogêneos (Santos et al., 2021), as informações técnicas sobre a espécie são incipientes. Pesquisas inerentes ao manejo e silvicultura, tanto em povoamentos homogêneos, quanto em sistemas silvipastoris (integração pecuária-floresta), são escassas, de maneira que não há estudos sobre a morfometria de árvores de cumbaru.

Em levantamento de lacunas na silvicultura de espécies nativas brasileiras, Rolim et al. (2019) observam que o cumbaru está entre as espécies com o menor número de estudos. Desta forma, são importantes pesquisas que possibilitem desenvolver a silvicultura da espécie, o manejo de povoamentos, assim como o melhoramento para uso em sistemas silvipastoris. O conhecimento dos atributos morfométricos do cumbaru poderá contribuir para recomendações de espaçamento e manejo em sistemas silvipastoris, em povoamentos homogêneos e em agroflorestas (Durlo, Sutili, Denardi, 2004; Roman, Bressan, Durlo, 2009; Dionisio et al., 2017 e Hellmann et al., 2020).

Além disso, os trabalhos de melhoramento florestal não têm buscado características específicas para produção em sistemas silvipastoris, sistemas que grande potencial em um país com uma pecuária forte, como o Brasil. Os testes de progênies realizados por Andrade et al. (2020) e Santos et al. (2021), por exemplo, selecionaram características visando povoamentos homogêneos. Importante destacar que o cumbaru é uma espécie de uso múltiplo. Sendo assim, o cultivo de madeira proporciona a produção de frutos e vice-versa. No entanto, em se tratando de sistemas silvipastoris, em que há a interação entre o componente arbóreo, animais e pastagem, deve-se levar em consideração múltiplas características das árvores na seleção de matrizes para um programa de melhoramento florestal.

É importante aprofundar nos estudos de ideótipo morfológico das árvores para diferentes tipos de sistemas de produção agroflorestal, pois as interações entre as árvores e os demais componentes do sistema (gramíneas, culturas

agrícolas e animais) estão relacionadas à forma das árvores. Desta forma, é necessário determinar um padrão morfológico ideal para sistemas silvipastoris, de acordo com os objetivos funcionais do componente arbóreo no sistema (produção de madeira, fruto ou função essencialmente ambiental) (Aguiar Junior et al., 2021). Nesse sentido, Salman et al. (2012) realizaram estudo aprofundado sobre características de tronco e copa, além de características ecológicas, silviculturais e de produção de espécies arbóreas nativas da Amazônia, para uso em sistemas silvipastoris. Os autores definiram escores para determinadas características de interesse e desenvolveram um método de seleção de espécies com características de interesse para sistemas silvipastoris. Baseado na metodologia de Salman et al. (2012), no capítulo anterior, nós desenvolvemos uma metodologia para selecionar matrizes de espécies florestais nativas com características desejáveis uso em sistemas silvipastoris.

O cumbaru desempenha importante função ecológica, estabelecendo interações com diversos animais como *Nasua nasua* (quati) (Debiez e Borges 2010, e Goebel et al., 2023), *Cerdocyon thous* (cachorro-do-mato), *Guerlinguetus sp.* (caxinguelê), *Potos flavus* (jupará), *Didelphis marsupialis* (gambá) (Goebel et al., 2023), *Cuniculus paca* (paca) (Ragusa-Netto, 2017), *Ara chloropterus* (arara vermelha) (Ragusa-Netto, 2024), *Artibeus sp.* (morcego) (Goebel et al., 2024). Além disso, as árvores tem relevância socioeconômica para extrativistas do Pantanal e Cerrado, que têm a renda complementada com a comercialização da castanha do cumbaru (Melo et al., 2017; Magalhães, 2019). Esses fatores silviculturais, ecológicos e socioeconômicos justificam a realização de estudos sobre o cumbaru, especialmente no que tange à sua introdução e manejo em diferentes sistemas de produção, especialmente sistemas silvipastoris.

Além disso, o estudo e a propagação de sistemas silvipastoris com árvores nativas é uma estratégia eficiente com potencial de aumentar a produtividade e os serviços ecossistêmicos das pastagens. É uma oportunidade para desenvolver pastagens sustentáveis com intensificação ecológica e adicionar às pastagens a função de conservação da biodiversidade (Vieira, Sano, Silva, 2022).

Nesse contexto, têm-se as seguintes perguntas: a) Há diferença entre a morfometria de árvores de cumbaru de pastagem sujeita à inundação temporária e pastagem sem inundação? b) Os atributos morfométricos têm relação com o diâmetro à altura do peito? c) Quais as recomendações de uso e manejo da espécie para essas condições edáficas distintas? d) Há árvores de cumbaru, com um conjunto de características fenotípicas superiores e desejáveis para sistemas silvipastoris, para seleção de matrizes?

Sendo assim, os objetivos desse trabalho foram (a) avaliar as características morfométricas de árvores isoladas de baru em pastagem sujeita à inundação temporária e pastagem sem inundação, visando subsidiar o uso e manejo da espécie; (b) avaliar as relações alométricas dos atributos morfométricos entre si e com o diâmetro à altura do peito; (c) Selecionar e mapear árvores matrizes de baru com características desejáveis para sistemas silvipastoris, possibilitando a coleta de sementes e produção de mudas de melhor qualidade genética potencial, além de possibilitar a produção de clones para realização de futuros testes de progênie, dando início a um programa de melhoramento da espécie.

Materiais e métodos

Caracterização das áreas de estudo

O relevo das áreas de estudo é plano, o clima é do tipo Aw (clima tropical de savana com inverno seco) de acordo com a classificação de Köppen com temperatura média anual variando de 24°C a 26°C, e precipitação anual de 1320 mm (Alvares et al., 2013). O clima apresenta sazonalidade, com período seco de abril a setembro e período chuvoso de outubro a março. Nesse estudo, foram avaliadas árvores presentes em uma pastagem não inundável, uma pastagem inundável e em um povoamento homogêneo não manejado, em Cáceres – MT:

- Pastagem não inundável (Pñi): pastagem de 120 ha, aberta há mais de 30 anos, composta predominantemente por *Urochloa Brizantha*, com ocorrência de

árvores isoladas, no IFMT Campus Cáceres. Há presença de árvores de *Dipteryx alata*, com idades distintas e desconhecidas, além de outras espécies nativas. O solo não sofre inundação. A ampla área de pastagem está inserida em uma paisagem cuja matriz apresenta, nas proximidades da pastagem, área de floresta nativa (Savana Florestada), povoamentos florestais exóticos de *Eucalyptus spp.* e *Tectona grandis* (teca), e sistemas de integração pecuária-floresta, com árvores em renques, compostos por árvores nativas e exóticas de *Eucalyptus spp.*, *Myracrodruon urundeuva* M. Allemão, *Acacia mangium* Willd., *Tabebuia roseoalba* (Ridl.) Sandwith, e *Khaya ivorensis* A.Chev.. As coordenadas geográficas são 57°41'43,93"W e 16°08'23,73"S, com altitude de 139 m (Figura 1).

- Pastagem inundável (Pi) – pastagem de 30 ha, aberta há mais de 20 anos, composta por *Urochloa humidicola* e *Urochloa brizantha*, com árvores isoladas, situada em uma pequena propriedade rural particular. Na pastagem, há presença de árvores de *Dipteryx alata*, com idades distintas e desconhecidas, além de *Hymenaea sp.* (jatobá), *Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. & Hook.f. ex S.Moore; (paratudo), *Curatella americana* L. (lixeira), *Cecropia sp.* (embaúba), além da palmeira *Bactris sp.* (tucum), espécies de ocorrência em solos inundáveis.

O solo sofre inundações temporárias devido à oscilação do lençol freático o que distingue essa área de estudo da anterior. Essa é uma característica de área úmida polimodal imprevisível, onde a inundação pode durar poucas semanas (Junk et al., 2015). Baseado na classificação de macrohabitats do Pantanal brasileiro, essa área pode ser classificada na unidade funcional *áreas antropogênicas*, subclasse *áreas antropogênicas recentes* e macrohabitat *pastagem exótica* (Nunes da Cunha et al., 2023). A pastagem está inserida em uma paisagem rural, cuja matriz é abundante em pastagens com árvores isoladas e com ocorrências de lagoas. As coordenadas geográficas são 57°50'31,5"W e 15°57'17,1"S, com altitude de 132 m (Figura 1).

- Povoamento homogêneo –(PoH) - povoamento homogêneo equiâneo (árvores de mesma idade) de *Dipteryx alata*, não manejado, sem realização de desbaste, espaçamento de 3,0 x 3,0 m, de 25 anos de idade e 0,49 ha, localizado em uma pequena propriedade rural. As coordenadas geográficas são 57°46'48,28"W e 15°55'12,19"S, com altitude de 137 m (Figura 1).

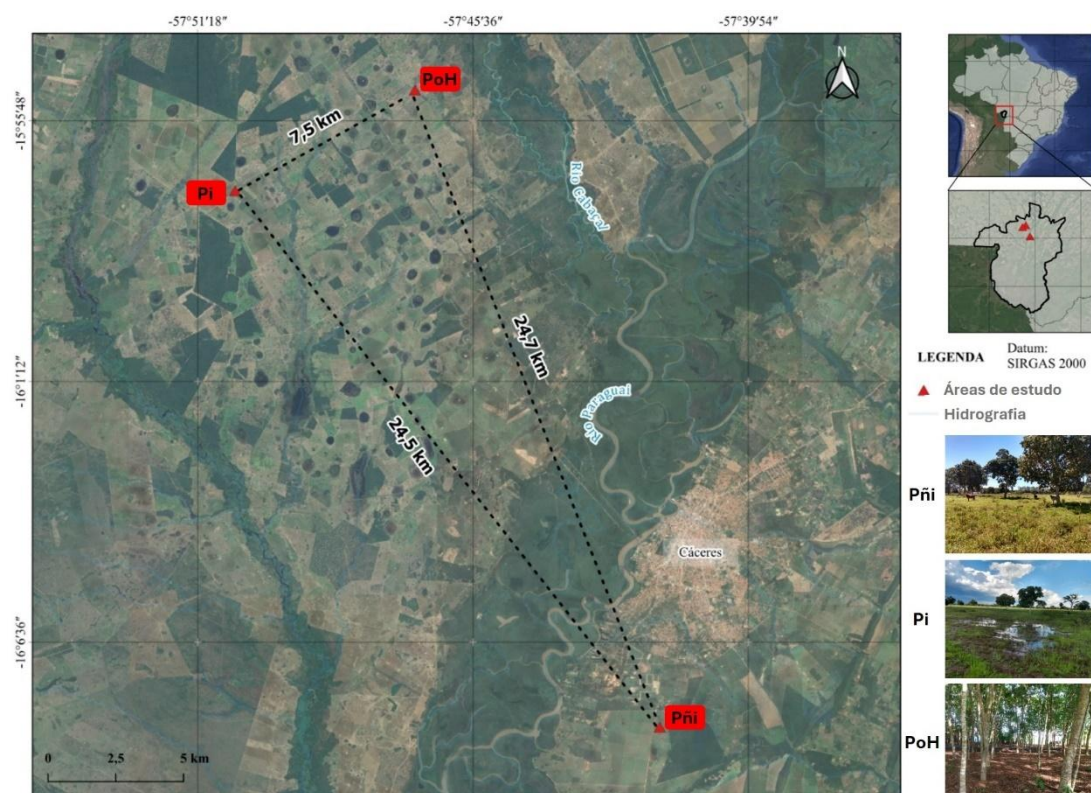


Figura 1: Localização das áreas de estudo: pastagem não inundável (Pñi) e inundável (Pi) com árvores isoladas e povoamento homogêneo (PoH) de *Dipteryx alata* Vogel.

Coleta de dados

Foram coletados os seguintes dados da população de árvores de cumbaru nas áreas Pñi e Pi: altura total (Ht), em m; altura da primeira furcação (Hf), em m; altura da base da copa (Hbc), em m; diâmetro de copa (Dc), em m, e diâmetro à altura do peito (DAP), em m (Figura 2). Em seguida foram calculados comprimento de copa ($Cc = Ht - Hbc$) e área de projeção da copa ($Apc = Dc^2 * \pi / 4$) em m². Na área PoH foram mensurados apenas Ht, Hf e DAP.

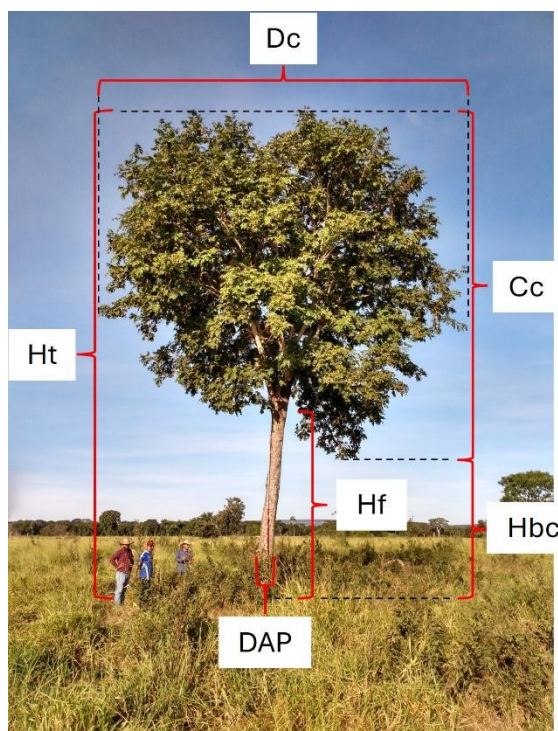


Figura 2: Variáveis mensuradas em árvores de *Dipteryx alata* Vogel: altura total (Ht), comprimento (altura) do fuste (Hf), diâmetro à altura do peito (DAP), diâmetro de copa (Dc), altura da base da copa (Hbc) e comprimento de copa (Cc).

Os dados de Ht, Hf e Hbc foram coletados com um hipsômetro digital Haglof. O Dc foi coletado com trena, tomando uma medida no sentido Leste-Oeste (Dc1) e outra no sentido Norte-Sul (Dc2) da copa. O valor de Dc foi obtido pela média de Dc1 e Dc2. O DAP foi mensurado com uma sulta, sendo obtido pela média dos valores de DAP1 e DAP2, mensurados transversalmente um ao outro. Para PoH foi mensurado apenas Ht, Hf e DAP, além de DAP das árvores de borda para balizar a discussão dos resultados, considerando que o povoamento nunca foi desbastado e encontra-se sob forte grau de competição.

Foi identificado o estado fitossanitário das árvores, evitando a seleção de matrizes doentes. Além disso, foram tiradas fotos e coletadas as coordenadas geográficas de todas as árvores, com uso de aplicativo de celular C7 GPS dados, para georreferenciar a população de cumbaru e as árvores matrizes escolhidas.

Variáveis morfométricas

Foram avaliadas as seguintes variáveis morfométricas para as árvores de Pñi e Pi: proporção de copa ($P_c = C_c / H_t$), grau de esbeltez ($G_e = H_t / DAP$), índice de saliência ($I_s = D_c / DAP$), índice de abrangência ($I_a = D_c / H_t$) e formal de copa ($F_c = D_c / C_c$) (Durlo e Denardi, 1998; Dionisio et al., 2017). Para PoH foi calculado apenas o G_e .

Seleção de Matrizes

A seleção de matrizes foi feita com base apenas na população de cumbaru da área Pñi. O propósito foi selecionar indivíduos com características desejáveis para sistemas silvipastoris. Foi utilizada a metodologia desenvolvida no capítulo 3 desta tese. A metodologia é baseada em escores atribuídos às variáveis relacionadas ao porte e fuste (H_t , H_f , DAP) e às variáveis de copa (C_c e D_c), relacionadas à interferência das árvores sobre a pastagem.

Os valores dos escores para cada variável foram determinados com base nos dados da população de árvores da área de estudo (Pñi). Foram determinadas 4 classes de valores para cada variável, baseado na média e no desvio padrão da variável de interesse. Em seguida foram atribuídos escores de 2; 3; 4 e 5 para cada classe da variável (Tabela 1).

Tabela 1: Classes de valores das variáveis altura total (Ht), comprimento do fuste (Hf), diâmetro à altura do peito (DAP), diâmetro de copa (Dc) e comprimento de copa (Cc), baseadas na média e desvio padrão de cada variável, com os respectivos escores.

Variável	Classes de valores da variável (x)	Escore
Variáveis de porte e fuste:	$x < (\text{média} - \text{desvio padrão})$	2
Ht	$(\text{média} - \text{desvio padrão}) \geq x < \text{média}$	3
DAP	$\text{média} \leq x < (\text{média} + \text{desvio padrão})$	4
Hf	$x \geq (\text{média} + \text{desvio padrão})$	5
-----	Classes de valores da variável (x)	Escore
Variáveis de copa:	$x < (\text{média} - \text{desvio padrão})$	5
Dc	$(\text{média} - \text{desvio padrão}) \geq x < \text{média}$	4
Cc	$\text{média} \leq x < (\text{média} + \text{desvio padrão})$	3
	$x \geq (\text{média} + \text{desvio padrão})$	2

Em seguida foi aplicada a Equação a e as árvores ordenadas por ordem decrescente de valores de “índice de seleção arbórea” (ISA). A seleção de matrizes foi feita com base nos maiores valores de ISA.

Equação a)

$$\text{ISA} = (E_{Ht} \times 2,30) + (E_{Hf} \times 2,30) + (E_{DAP} \times 2,30) + (E_{Cc} \times 1,55) + (E_{Dc} \times 1,55)$$

Em que, temos os valores dos escores (E) relativos à:

Ht = altura total;

Hf = comprimento do fuste (altura da primeira furcação);

DAP = diâmetro à altura do peito (medido a 1,30 m a partir do nível do solo);

Cc = comprimento de copa (diferença entre a altura total e a altura da base da copa) e,

Dc = diâmetro de copa (média dos diâmetros de copa obtidos no sentido Leste-Oeste e Norte-Sul).

Análises dos dados

Foi realizada estatística descritiva e análise de homogeneidade das variâncias através do teste de *Shapiro-Wilk* ($p < 0,05$) e gráficos que *Q.Q. plot*. Como nem todas as variáveis apresentaram normalidade, foi feita a análise de correlação de *Spearman* ($p < 0,05$). As análises foram realizadas no Jamovi 2.6.26 (The Jamovi Project, 2024).

Resultados

As árvores da Pñi são de maior porte em comparação às árvores da Pi, apresentando valores superiores para todas as variáveis dendrométricas, com exceção de Cc (Tabela 2). Os valores de Pñi foram 38,1%, (Ht), 39,9%(Hf), 40,5% (DAP), 16,9% (Hbc), 36,3% (Dc) e 59,1% (Apc) superiores à Pi. O valor de Cc foi próximo entre as duas áreas, com diferença de apenas 7,9%.

Quanto às árvores de PoH, estas apresentaram Ht (15,23 m) maior do que ambas as áreas de pastagem (13,87 e 8,58 m para Pñi e Pi, respectivamente). No entanto, o valor foi próximo à Ht das árvores de Pñi. O valor de Ht para PoH foi apenas 8,9% superior a Pñi e 43,6% superior a Pi. O valor de Hf (6,21 m) de PoH também foi superior às demais áreas. O valor foi 23,4% superior a Pñi e 53,9% superior a Pi. Para DAP o resultado foi o inverso. As árvores de PoH apresentaram valor 59,4% inferior às árvores de Pñi e 31,8% inferior às árvores de Pi (Tabela 2).

Tabela 2: Variáveis dendrométricas de árvores inequianas de *Dipteryx* alata isoladas em pastagem não inundável, pastagem inundável e em povoamento homogêneo de 25 anos, com espaçamento de 3 x 3 m, não manejado, em Cáceres – MT. Ht – altura total; Hf; comprimento do fuste; *Hbc – altura da base da copa; Dc – diâmetro de copa e, DAP – diâmetro à altura do peito.

Local	Parâmetros estatísticos	Ht (m)	Hf (m)	DAP (cm)	Hbc (m)	Cc (m)	Dc (m)	Apc (m ²)
Pastagem não inundável com árvores inequianas	Média	13.87	4.76	48.78	3.01	5.35	12.55	129.06
	Desvio padrão	2.12	1.52	8.39	1.37	1.96	2.63	54.56
	Erro padrão	0.21	0.15	0.86	0.14	0.20	0.27	5.66
	Mediana	13.85	4.80	47.95	2.45	5.49	12.48	122.23
	Variância	4.48	2.31	70.33	1.88	3.83	6.93	2976.70
	Amplitude	12.10	7.50	47.10	7.80	9.64	13.10	268.54
	Mínimo	8.40	1.30	25.50	1.30	1.59	6.50	33.18
	Máximo	20.50	8.80	72.60	9.10	11.23	19.60	301.72
	CV%	15,26	31,94	17,19	45,60	36,55	20,99	42,27
	N	97	97	95	96	96	93	93
Pastagem inundável com árvores inequianas	Média	8.58	2.86	29.02	2.50	5.81	8.00	52.78
	Desvio padrão	2.36	1.55	8.75	0.88	1.59	1.81	24.03
	Erro padrão	0.29	0.19	1.06	0.11	0.21	0.23	3.00
	Mediana	8.35	2.30	27.65	2.20	5.70	7.76	47.33
	Variância	5.58	2.40	76.55	0.78	2.53	3.28	577.34
	Amplitude	12.40	7.60	45.45	5.70	7.20	8.28	113.25
	Mínimo	4.50	0.50	11.60	1.80	2.40	4.58	16.44
	Máximo	16.90	8.10	57.05	7.50	9.60	12.85	129.69
	CV%	27,54	54,06	30,15	35,26	27,37	22,6	45,52
	N	66	64	68	60	60	64	64
Povoamento equiâneo, de 25 anos, não desbastado	Média	15.23	6.21	19.18	----	----	----	----
	Desvio padrão	3.75	3.26	7.31	----	----	----	----
	Erro padrão	0.32	0.28	0.62	----	----	----	----
	Mediana	16.05	5.95	18.05	----	----	----	----
	Variância	14.03	10.60	53.47	----	----	----	----
	Amplitude	15.60	13.85	30.80	----	----	----	----
	Mínimo	6.30	1.35	6.85	----	----	----	----
	Máximo	21.90	15.20	37.65	----	----	----	----
	CV%	24,60	52,39	38,13	----	----	----	----
	N	136	132	137	----	----	----	----

Com relação aos atributos morfométricos, as árvores de Pñi e Pi se diferenciaram quanto aos valores de Pc e Fc. As árvores de Pñi apresentaram valor de Pc (0,39) 43,5% menor do que as árvores de Pi (0,69) e valor de Fc

(2,61) 45,6% maior do que as árvores de Pi (Tabela 3). Os valores das variáveis Ge, Is e Ia foram bem próximos entre as árvores das duas pastagens. A diferença entre os valores foi de 6,5% (Ge), 13,3% (Is) e 6,2% (Ia) (Tabela 3).

Tabela 3: Atributos morfométricos de árvores inequianas de *Dipteryx* alata isoladas em pastagem não inundável, pastagem inundável e em povoamento homogêneo de 25 anos, com espaçamento de 3 x 3 m, não manejado, em Cáceres – MT.

Local	Parâmetros estatísticos	Pc	Ge	IS	Ia	Fc
Pastagem não inundável com árvores inequiâneas	Média	0.39	0.29	0.26	0.91	2.61
	Erro padrão	0.02	0.00	0.00	0.02	0.11
	Mediana	0.41	0.29	0.26	0.88	2.28
	Desvio padrão	0.15	0.04	0.05	0.19	1.09
	Variância da amostra	0.02	0.00	0.00	0.04	1.19
	Amplitude	0.66	0.19	0.34	1.01	8.07
	Mínimo	0.11	0.21	0.15	0.58	1.31
	Máximo	0.77	0.40	0.48	1.59	9.38
	CV%	38.0	14.3	18.3	21.3	41.7
	n	96	94	92	93	93
Pastagem inundável com árvores inequiâneas	Média	0.69	0.31	0.30	0.97	1.42
	Erro padrão	0.01	0.01	0.01	0.03	0.04
	Mediana	0.71	0.29	0.28	0.93	1.39
	Desvio padrão	0.08	0.06	0.08	0.21	0.32
	Variância da amostra	0.01	0.00	0.01	0.04	0.10
	Amplitude	0.33	0.29	0.37	0.88	1.79
	Mínimo	0.48	0.18	0.13	0.55	0.80
	Máximo	0.81	0.47	0.50	1.43	2.58
	CV%	11.03	18.96	28.02	21.35	22.43
	n	60	65	64	64	60
Povoamento equiâneo, de 25 anos, não desbastado	Média	----	0.85	----	----	----
	Erro padrão	----	0.02	----	----	----
	Mediana	----	0.82	----	----	----
	Desvio padrão	----	0.20	----	----	----
	Variância da amostra	----	0.04	----	----	----
	Amplitude	----	1.31	----	----	----
	Mínimo	----	0.46	----	----	----
	Máximo	----	1.77	----	----	----
	CV%	----	23.99	----	----	----
	n	----	136	----	----	----

Para Pñi, ao nível de significância de $p < 0,01$, o DAP apresentou correlação positiva forte (0,60) com Ht e moderada (0,59) com Dc e Apc, negativa moderada (-0,53) com Ge (Figura 3). O DAP das árvores de Pi apresentou correlação positiva forte com Ht (0,75) e Cc (0,67), e correlação negativa forte (-0,74) com IS e moderada com Fc (-0,53) e Ge (-0,55) (Figura 3), ao nível de significância de $p < 0,01$. Para as árvores de PoH, o DAP apresentou correlação positiva muito forte (0,81) com Ht e negativa forte (-0,76) com Ge (Figura 3), ao nível de significância de $p < 0,01$.

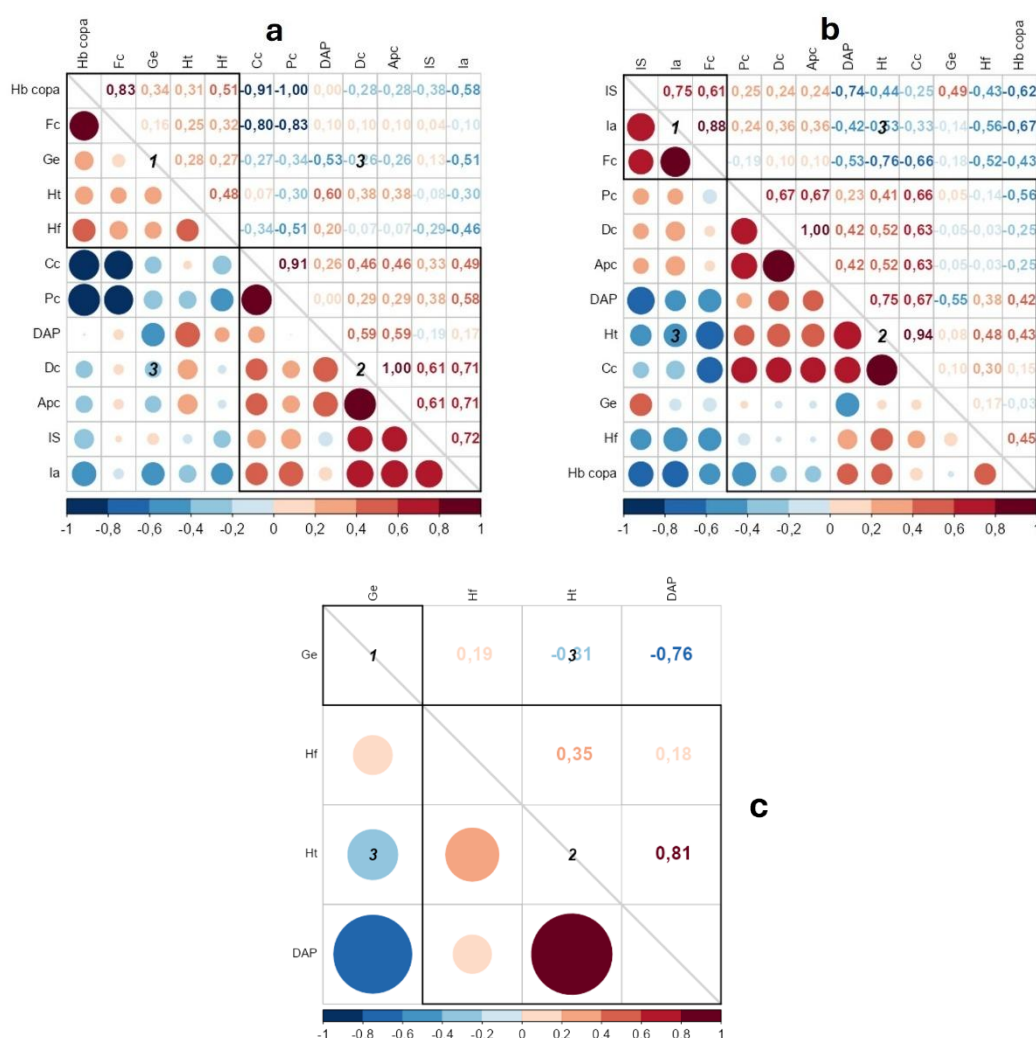


Figura 3: Matriz de correlação de Spearman para variáveis dendrométricas e morfométricas de árvores de *Dipteryx alata* Vogel isoladas em pastagem não inundável (a), pastagem inundável (b) e em povoamento homogêneo de 25 anos, com espaçamento de 3 x 3 m, não manejado (c), em Cáceres – MT. A cor azul indica correlação negativa e vermelho positiva.

A distribuição diamétrica das árvores das duas pastagens apresentaram estrutura semelhante a uma distribuição normal, com baixa representatividade de indivíduos nas classes de DAP menores, distante da distribuição no formato de “j invertido” (Figura 4).

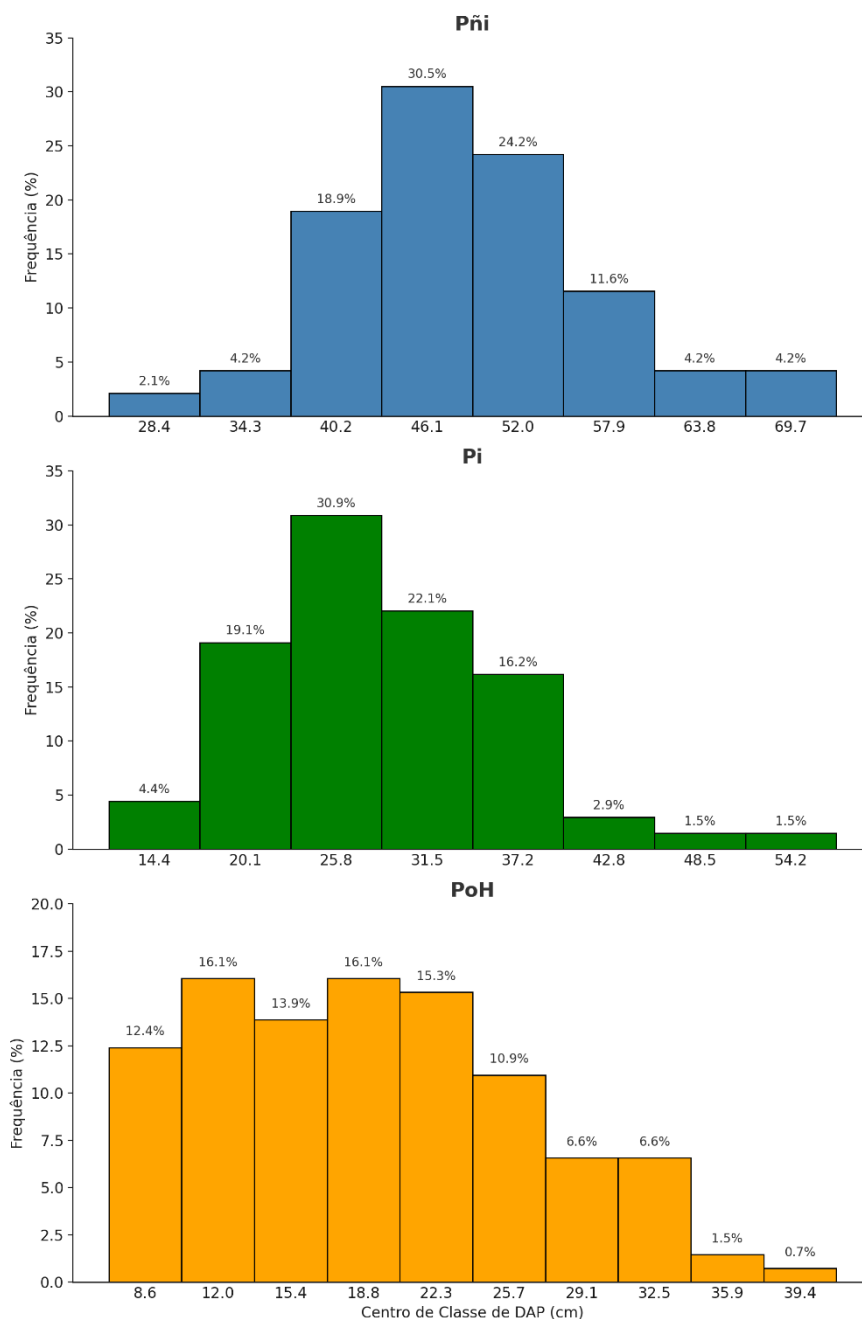


Figura 4: Distribuição de diamétrica em classes para árvores de *Dipteyx alata* Vogel isoladas em pastagem não inundável (Pñi), pastagem inundável (Pi) e em povoamento homogêneo de 25 anos, com espaçamento de 3 x 3 m, não manejado (PoH), em Cáceres – MT.

Apenas 2,1% das árvores ocorrem na primeira classe de DAP em Pñi e 4,4% em Pi (Figura 4). Não foi observada ocorrência regeneração natural nas pastagens durante o inventário. Apesar de não ter sido instaladas parcelas para avaliação da regeneração, foi realizado caminhamento em toda a pastagem durante o inventário das árvores, observando se havia indivíduos regenerantes.

As árvores de PoH, revelaram uma distribuição diamétrica mais homogênea, com muitos indivíduos na classe inferiores e intermediárias de DAP, e poucos indivíduos nas classes de maiores DAP (Figura 4).

Os resultados do ISA estão expostos na Tabela 4, em ordem decrescente. A tabela apresenta os códigos das coordenadas geográficas das árvores, o ISA de cada indivíduo, os valores das variáveis de interesse e os respectivos escores. As 30 árvores (30% da população mensurada) com os maiores valores de ISA foram selecionadas como matrizes.

Tabela 4: Índice de seleção arbórea (ISA), variáveis dendrométricas e respectivos escores para árvores de *Dipteryx alata* Vogel isolas em pastagem não inundável, no IFMT, em Cáceres – MT. As árvores estão em ordem decrescente de ISA. Ht = altura total; Esc. = escore; Hf = comprimento do fuste; DAP = diâmetro à altura do peito; Dc = diâmetro de copa; Cc = comprimento de copa e, ^M = matriz.

Árvore	Código da coordenada	ISA	Ht (m)	Esc.	Hf (m)	Esc.	DAP (cm)	Esc.	Dc (m)	Esc.	Cc (m)	Esc.
65 ^M	PJ	4.5	14.5	4	6.7	5	59.3	5	15.0	3	5.4	5
43 ^M	A40	4.4	17.9	5	6.5	5	58.7	5	12.5	4	15.2	2
20 ^M	A15	4.3	14.7	4	7.8	5	43.7	3	9.4	5	8.4	5
2 ^M	A38	4.3	16.1	5	8.0	5	54.6	4	12.2	4	11.6	3
1 ^M	A41	4.3	17.3	5	7.5	5	51.6	4	11.8	4	12.8	3
99 ^M	A96	4.2	12.8	3	6.5	5	50.0	4	10.2	5	9.2	4
84 ^M	A81	4.2	14.8	4	4.8	4	60.5	5	12.5	4	10.5	4
5 ^M	A32	4.2	18.0	5	6.4	5	51.8	4	12.3	4	13.0	2
37 ^M	A33	4.1	14.1	4	4.9	4	47.6	3	8.9	5	8.7	5
62 ^M	A60	4.1	17.3	5	7.7	5	43.3	3	11.8	4	11.9	3
22 ^M	A17	4.1	14.4	4	5.2	4	58.8	5	12.8	4	12.2	3
41 ^M	A37	4.1	16.5	5	6.1	4	49.0	4	10.6	4	12.6	3
85 ^M	A82	4.0	14.8	4	5.4	4	54.2	4	12.3	4	9.4	4
55 ^M	A53	4.0	14.7	4	8.8	5	42.7	3	12.5	4	9.6	4

Continua ...

Tabela 4: Continuação

Árvore	Código da coordenada	ISA	Ht (m)	Esc.	Hf (m)	Esc.	DAP (cm)	Esc.	Dc (m)	Esc.	Cc (m)	Esc.
54 ^M	A52	4.0	15.5	4	7.5	5	42.3	3	10.8	4	10.2	4
86 ^M	A83	4.0	17.1	5	6.1	4	68.2	5	13.1	3	14.6	2
66 ^M	A63	4.0	16.7	5	7.5	5	52.8	4	15.4	3	15.2	2
61 ^M	A59	4.0	20.5	5	6.7	5	55.1	4	14.6	3	15.4	2
39 ^M	A35	4.0	17.6	5	8.1	5	56.4	4	13.8	3	15.6	2
82 ^M	A79	3.8	13.0	3	6.6	5	42.7	3	14.1	3	7.8	5
10 ^M	A4	3.8	14.5	4	5.6	4	42.9	3	11.5	4	10.0	4
26 ^M	A22	3.8	14.1	4	5.2	4	48.7	3	12.5	4	10.2	4
63 ^M	A61	3.8	12.8	3	5.3	4	56.2	4	12.3	4	10.6	4
64 ^M	PI	3.8	12.8	3	6.4	5	46.8	3	12.6	4	10.6	4
36 ^M	A31	3.8	15.5	4	5.0	4	62.7	5	16.9	2	12.0	3
33 ^M	A28	3.8	14.9	4	4.8	4	62.4	5	17.0	2	12.9	3
28 ^M	A24	3.8	16.9	5	4.3	3	66.9	5	14.3	3	13.9	2
35 ^M	A30	3.8	17.5	5	4.8	4	63.1	5	17.1	2	13.9	2
60 ^M	A58	3.8	16.2	5	5.9	4	67.8	5	18.0	2	14.2	2
45	A43	3.7	13.7	3	6.2	4	43.5	3	10.3	5	8.7	4
21	A16	3.7	13.2	3	5.2	4	43.7	3	9.9	5	10.2	4
87	A84	3.7	15.4	4	5.5	4	51.1	4	13.0	3	12.1	3
25	A20	3.7	14.4	4	5.5	4	51.2	4	15.3	3	12.2	3
44 ^M	A42	3.7	14.5	4	4.9	4	55.7	4	14.7	3	12.3	3
48	A46	3.7	14.8	4	5.4	4	53.3	4	13.3	3	12.6	3
79	A76	3.7	15.1	4	5.3	4	51.7	4	14.2	3	12.9	3
53	A51	3.6	13.1	3	5.1	4	39.6	2	9.8	5	8.3	5
52	A50	3.6	13.3	3	5.5	4	38.8	2	8.5	5	8.5	5
7	A1	3.6	12.2	3	3.2	3	58.8	5	15.3	3	10.7	4
27	A23	3.6	13.7	3	4.8	4	54.1	4	12.0	4	11.5	3
77	A74	3.6	15.6	4	4.8	4	41.6	3	10.6	4	11.9	3
58	A56	3.6	14.9	4	4.9	4	45.4	3	12.9	4	12.3	3
4	A21	3.6	15.6	4	5.0	4	72.6	5	19.5	2	13.4	2
17	A12	3.5	12.7	3	4.0	3	43.2	3	8.5	5	8.9	4
51	A49	3.5	12.3	3	3.9	3	42.0	3	9.0	5	9.0	4
9	A3	3.5	12.5	3	4.3	3	45.9	3	7.3	5	10.0	4
50	A48	3.5	14.3	4	4.3	3	44.9	3	11.6	4	10.7	4
3	A9	3.5	15.0	4	4.8	4	51.5	4	15.8	2	11.5	3
34	A29	3.5	14.5	4	3.9	3	59.5	5	19.6	2	12.4	3
29	Pf	3.5	16.5	5	3.9	3	52.3	4	13.2	3	13.1	2
100	A97	3.5	15.1	4	6.2	4	51.0	4	13.3	3	13.4	2
69	A66	3.4	9.6	2	5.3	4	37.4	2	7.4	5	7.0	5
74	A71	3.4	12.6	3	3.7	3	38.3	2	6.2	5	8.1	5
83	A80	3.4	13.2	3	5.5	4	44.7	3	12.1	4	10.8	3
30	Pg	3.4	13.3	3	4.8	4	46.8	3	11.6	4	11.1	3
24	A19	3.4	12.8	3	5.9	4	43.2	3	11.6	4	11.1	3

Continua ...

Tabela 4: Continuação

Árvore	Código da coordenada	ISA	Ht (m)	Esc.	Hf (m)	Esc.	DAP (cm)	Esc.	Dc (m)	Esc.	Cc (m)	Esc.
38	A34	3.4	13.7	3	4.2	3	49.7	4	10.8	4	11.2	3
89	A86	3.4	14.0	4	3.8	3	47.5	3	11.6	4	11.8	3
73	A70	3.4	14.1	4	4.1	3	44.5	3	11.5	4	12.1	3
91	A88	3.4	14.0	4	3.5	3	42.5	3	12.8	4	12.4	3
76	A73	3.3	12.2	3	5.4	4	38.6	2	13.5	3	7.7	5
31	Ph	3.3	12.9	3	3.5	3	47.1	3	11.7	4	9.4	4
75	A72	3.3	11.6	2	4.3	3	54.1	4	10.9	4	9.6	4
23	A18	3.3	12.4	3	3.8	3	48.6	3	10.9	4	10.2	4
18	A13	3.3	12.9	3	3.7	3	48.7	3	11.6	4	10.7	4
16	A11	3.3	14.0	4	3.3	3	55.7	4	19.1	2	11.5	3
11	A5	3.3	16.5	5	3.1	2	54.7	4	15.7	2	12.4	3
88	A85	3.3	15.0	4	4.2	3	52.0	4	13.3	3	13.1	2
93	A90	3.2	9.8	2	4.5	3	25.5	2	6.5	5	5.3	5
70	Pk	3.2	11.2	2	6.0	4	37.2	2	9.6	5	9.1	4
102	A99	3.2	11.2	2	4.8	4	40.0	2	8.8	5	9.5	4
47	A45	3.2	12.3	3	3.1	2	50.8	4	15.3	3	10.1	4
46	A44	3.2	12.1	3	3.3	3	47.4	3	15.0	3	10.4	4
72	A69	3.2	12.8	3	4.5	3	47.8	3	12.7	4	10.8	3
81	A78	3.2	12.8	3	4.5	3	51.0	4	13.8	3	11.0	3
80	A77	3.2	13.4	3	4.6	4	46.6	3	14.1	3	11.4	3
78	A75	3.2	13.9	4	3.3	3	42.9	3	13.0	3	11.9	3
101	A98	3.2	13.9	3	4.0	3	47.5	3	12.2	4	12.1	3
90	A87	3.2	15.6	4	2.8	2	51.5	4	12.7	4	13.5	2
98	A95	3.1	11.5	2	3.3	3	45.0	3	12.0	4	9.0	4
71	A68	3.1	13.4	3	4.1	3	39.5	2	10.9	4	10.2	4
49	A47	3.1	12.5	3	2.5	2	48.0	3	12.1	4	10.4	4
68	A65	3.1	14.6	4	2.8	2	52.0	4	14.8	3	13.3	2
56	A54	3.0	13.4	3	3.8	3	45.5	3	13.3	3	11.4	3
92	A89	3.0	11.3	2	3.1	2	44.0	3	8.5	5	8.7	4
8	A2	2.9	9.6	2	1.7	2	31.0	2	10.4	5	7.6	5
94	A91	2.9	9.8	2	2.0	2	38.5	2	8.8	5	8.2	5
15	A10	2.9	10.5	2	3.3	3	48.1	3	16.7	2	8.5	5
57	A55	2.9	11.5	2	3.4	3	45.1	3	13.1	3	9.3	4
95	A92	2.9	11.3	2	2.5	2	45.5	3	12.3	4	9.5	4
67	A64	2.8	8.4	2	2.6	2	36.0	2	10.9	4	7.1	5
96	A93	2.6	11.1	2	2.6	2	35.5	2	12.7	4	9.7	4
14	A8	2.5	12.1	3	2.1	2	34.3	2	16.6	2	10.1	4
97	A94	----	----	----	----	----	53.0	4	----	2	----	2
59	A57	----	16.3	5	1.3	2	----	----	20.4	2	14.3	2
42	A39	4.2**	13.5	3	6.0	4	62.4	5	9.2	5	9.6	4
19	A14	3.9**	12.9	3	4.2	3	50.8	4	9.5	5	8.1	5
32	A27	3.9**	11.8	3	4.8	4	51.5	4	13.4	3	8.5	5

* Não foi calculado o ISA devido à falta de dados.

***Apesar dos elevados valores de ISA, essas árvores não foram escolhidas por apresentarem defeitos severos no tronco, copa ou inadequações fitossanitárias. Os valores destacados em azul indicam os 20 maiores valores das variáveis (Ht, Hf e DAP), enquanto os valores destacados em verde indicam os 20 menores valores das variáveis (Dc e Cc), correspondendo a 30% dos indivíduos da população base.*

Os gráficos de dispersão das variáveis das matrizes selecionadas e das demais árvores, indicam a dimensão dos valores das variáveis selecionadas ou preteridas em relação à média da população (Figura 3). A Tabela 4 também permite esse dimensionamento, destacando os 20 maiores valores das variáveis Ht, Hf e DAP em azul, e os 20 maiores valores das variáveis Dc e Cc em verde. Ressalta-se que a seleção das matrizes foi feita com base em um índice (ISA) e não com base em cada variável individualmente. Para as variáveis Ht, Hf e DAP, os maiores valores são de priorizados no índice de seleção (ISA), com maiores escores, enquanto para as variáveis Dc e Cc é o contrário (Tabela 1).

O mapa de localização da população de cumbarus, com a devida identificação da localização das matrizes com características desejáveis para sistemas silvipastoris, selecionadas pelo ISA, é apresentado na Figura 6.

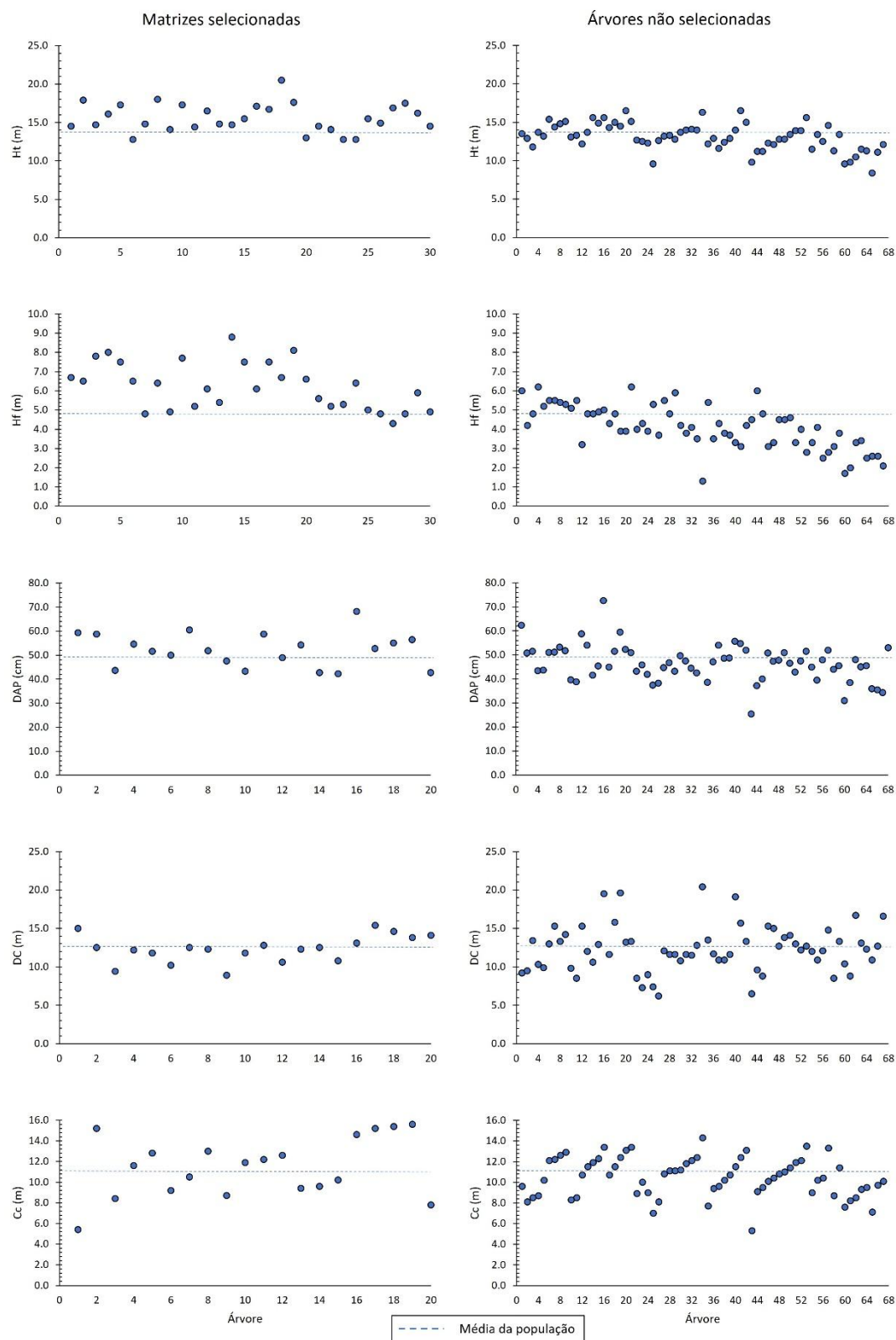


Figura 5: Dispersão de altura total (Ht), comprimento do fuste (Hf), diâmetro à altura do peito (DAP), diâmetro de copa (Dc) e comprimento de copa (Cc) para as matrizes selecionadas e para as árvores não selecionadas, em relação à média da população (matrizes + árvores não selecionadas).

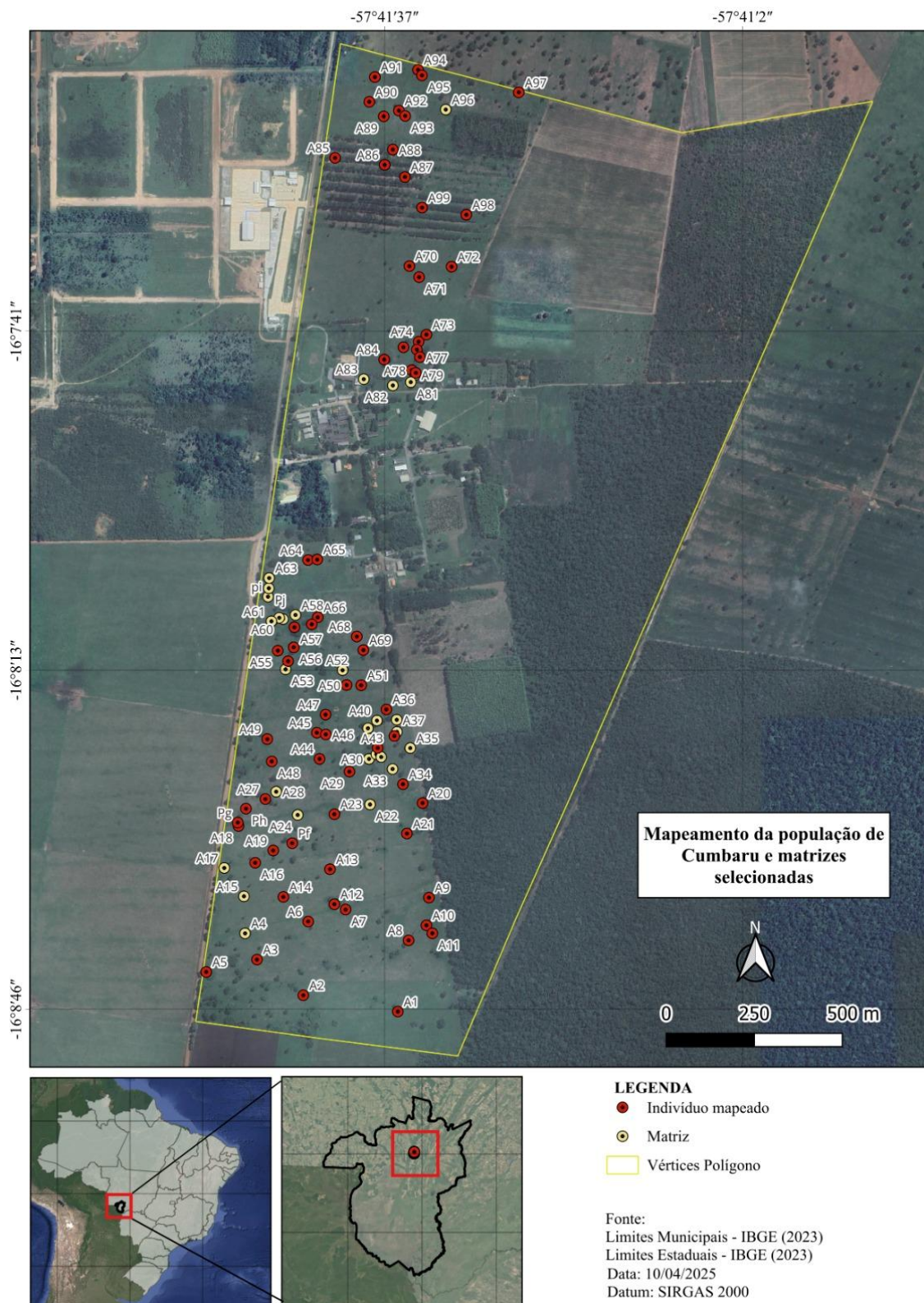


Figura 6: Mapa da população de *Dipteryx alata* Vogel isolas em pastagem não inundável, no IFMT, em Cáceres – MT. Destaque em amarelo para matrizes com características desejáveis para sistemas silvipastoris.

A Tabela 5 mostra as menores distâncias entre uma matriz e outra. Só foi considerada a menor distância entre matrizes, não considerando a distância entre árvore selecionada como matriz e não selecionada. A metade das árvores matrizes apresentou menores distância superiores a 60,0 m entre si, enquanto a outra metade apresentou valores abaixo de 37,0 m (Tabela 5).

Tabela 5: Menores distâncias entre as 30 matrizes de *Dipteryx alata* Vogel, com características desejáveis para sistemas silvipastoris, isoladas em pastagem não inundável, no IFMT, em Cáceres – MT. As árvores estão em ordem decrescente de distância (m).

Árvore (Ponto)	Árvore (Ponto mais próximo)	Distância (m)	Árvore (Ponto)	Árvore (Ponto mais próximo)	Distância (m)
99 ^M (A96)	82 ^M (A79)	783.4	61 ^M (A59)	60 ^M (A58)	37.4
55 ^M (A53)	54 ^M (A52)	161.9	60 ^M (A58)	61 ^M (A59)	37.4
54 ^M (A52)	55 ^M (A53)	161.9	41 ^M (A37)	2 ^M (A38)	35.6
63 ^M (A61)	55 ^M (A53)	146.9	43 ^M (A40)	1 ^M (A41)	34.1
37 ^M (A33)	26 ^M (A22)	122.4	1 ^M (A41)	43 ^M (A40)	34.1
26 ^M (A22)	37 ^M (A33)	122.4	44 ^M (A42)	1 ^M (A41)	30.8
20 ^M (A15)	10 ^M (A4)	109.0	66 ^M (A63)	65 ^M (Pj)	30.0
10 ^M (A4)	20 ^M (A15)	109.0	84 ^M (A81)	82 ^M (A79)	26.0
22 ^M (A17)	20 ^M (A15)	100.3	82 ^M (A79)	84 ^M (A81)	26.0
33 ^M (A28)	28 ^M (A24)	91.6	65 ^M (Pj)	64 ^M (Pi)	24.9
28 ^M (A24)	33 ^M (A28)	91.6	64 ^M (Pi)	65 ^M (Pj)	24.9
85 ^M (A82)	86 ^M (A83)	84.7	36 ^M (A31)	35 ^M (A30)	24.9
86 ^M (A83)	85 ^M (A82)	84.7	35 ^M (A30)	36 ^M (A31)	24.9
2 ^M (A38)	39 ^M (A35)	60.8	5 ^M (A32)	36 ^M (A31)	16.0
39 ^M (A35)	2 ^M (A38)	60.8	62 ^M (A60)	61 ^M (A59)	11.4

Discussão

Os resultados obtidos indicam que o cumbaru em solo inundável tem o seu crescimento afetado negativamente, uma vez que apresentou variáveis de altura, diâmetro e copa inferiores às árvores de pastagem não inundável (Tabela 2). Porém, isto não implica em afirmar que a espécie não tem potencial para cultivo neste tipo de solo, mas sim, que suas características dendrométricas são inferiores em relação às árvores de solos não inundáveis. Esta colocação é

corroborada pelo fato de haver uma população de mais de 70 árvores de cumbaru, em uma área de 30 ha de pastagem inundável (Pi).

De fato, a inundação é um fator imitante para muitas espécies arbóreas, agindo como um filtro ambiental (Leite et al., 2018 e Ribeiro et al., 2021). O fato de haver árvores adultas de cumbaru em solo submetido a inundações, é uma informação de grande relevância para a produção silvipastoril. Isto indica o potencial de uso da espécie para formação de sistemas silvipastoris em pastagens inundáveis. Esse tipo de ambiente não é favorável à ocorrência de vegetação arbórea, principalmente de interesse comercial.

Desta forma, nossos resultados apontam o cumbaru como uma espécie arbórea capaz de desempenhar a função de produção em sistemas silvipastoris inundáveis, além de desempenhar as funções ambientais. Isto pode contribuir para a otimização do uso desse tipo de área, valorizar a propriedade rural e trazer benefícios econômicos, principalmente ao pequeno produtor.

Os resultados indicam que a capacidade de interferência (sombreamento) sobre o pasto e a aptidão de uso da espécie em solos inundáveis e não inundáveis é distinta, dada a ampla diferença entre Ht, Hf, DAP e Dc das árvores de Pñi e Pi (Tabela 2). O Cc apresentou o valor mais próximos entre Pñi e Pi. No entanto, apesar da semelhança quanto a esse atributo de copa, as árvores desses dois ambientes se distinguem pelo Dc, em relação à copa, com Pñi apresentando valor superior de Dc em relação a Pi. Isto indica, que em solo inundável, as copas das árvores permitem maior passagem de luz para o pasto, o que é uma característica importante em se tratando de sistemas silvipastoris. Assim como Dc, a variável morfométrica relacionadas à copa das árvores, Fc, foi superior para Pñi em comparação a Pi, no entanto, Pc foi maior para Pi (Tabela3).

Pc é proporção de copa em relação à altura total da árvore (Cc/Ht) e FC (a razão Dc/Cc) (Durlo e Denardi, 1998) é um indicativo da forma da copa. Maiores valores de Fc indicam copas mais alongadas (Gardin, Watzlawick, Giloni-Lima, 2020; Hellmann et al. 2020) e com maiores Dc (Tonini e Arco-Verde, 2005; Hellmann et al. 2020). Pñi e Pi não diferem quanto a Cc (5,35 e 5,81, respectivamente). Sendo assim, a diferença de valores de Pc é devido aos

valores de Ht das árvores das duas áreas de pastagem, em que as árvores de Pñi apresentaram valores superiores a Pi (Tabela 2). Ou seja, as árvores de Pñi e Pi apresentam mesmo Cc, porém, em relação à altura dos indivíduos, as árvores de Pñi possuem Pc (39%) menor do que as árvores de Pi (69%) (Tabela3). Com relação a Fc, os maiores valores de Pñi indicam copas mais alongadas do que Pi. Isso é explicado pelos maiores valores de Dc das árvores de Pñi (Tabela 2).

Em solo não inundável, as características do cumbaru apontam para uma maior aptidão para produção de madeira em comparação às árvores de solo inundável, o que é indicado pelos valores superiores de Ht e, principalmente de Hf e DAP das árvores de Pñi em comparação às árvores de Pi (Tabela 2). Apesar do cumbaru ter apresentado capacidade de produção de madeira reduzida em solo inundável, há árvores com valores de Hf superiores e que podem ser utilizadas para programas de melhoramento com foco em produção de madeira. O valor máximo de Ht, Hf e DAP registrados para Pi foram de 16,9 0 m, 8,10 m e 57,05 cm, respectivamente (Tabela 2).

Em pastagem inundável, o cumbaru apresentou características mais propícias para produção de frutos (castanha) do que para produção de madeira, devido às menores dimensões da Ht, Hf, DAP em comparação às árvores de pastagem inundável. No entanto, apesar do Dc ser menor, o Cc de compa é semelhante às árvores de pastagem não inundável (Tabela 2).

O Dc e Apc são parâmetros importantes para definição do espaçamento de plantio e manejo, evitando concorrência entre árvores e, portanto, proporcionando maior produtividade (Tonini e Arco-Verde, 2005; Roman, Bressan, Durlo, 2009; Dionisio et al., 2017).

Com base nos resultados de Dc e Apc, podemos afirmar que, para a introdução do cumbaru em pastagens, é possível utilizar espaçamentos mais adensados em ambientes inundáveis, em comparação a ambientes não inundáveis. Certamente, a escolha do espaçamento dependerá do modelo de organização espacial das plantas (isoladas, em grupos, ou em renques) em associação com os objetivos de produção e o manejo a ser realizado. Essa

mesma lógica serve para o uso da espécie em agroflorestas e em povoamentos homogêneos.

De acordo com Dionisio et al. (2017), Fc e Is de árvores isoladas em pastagem de *Bertholletia excelsa* apresentaram relação negativa com o DAP. No nosso estudo, foi observado o mesmo padrão Figura (3). O Is (razão Dc/DAP) expressa a dimensão do tamanho do diâmetro da copa em relação ao DAP (Durlo e Denardi, 1998). Os valores de Is das árvores dos dois ambientes de pastagem são próximos (Tabela 2)

O Ge é um indicador de estabilidades das árvores (Durlo e Denardi, 1998). Sendo assim, maiores valores indicam maior suscetibilidade a danos por ventos (Gardin, Watzlawick, Giloni-Lima, 2020) e indicam forma mais alongada (Tonini e Arco-Verde, 2005). Como esse atributo é obtido pela razão Ht/DAP, ele é influenciado pelo crescimento em DAP e Ht, podendo refletir, portanto, o grau de competição sob o qual as árvores crescem. Quanto maior o valor de DAP, menor é o valor de Ge. As árvores de PoH apresentaram valor de Ge (0,85) muito superior aos valores das árvores de Pñi (0,29) e Pi (0,39). Em PoH, um povoamento florestal não manejado, as árvores cresceram sob forte competição, enquanto nas áreas de pastagem (Pñi e Pi), abertas há mais de 20 anos, as árvores estão crescendo livre de competição há muitos anos. Desta forma, os valores de DAP observados em Pñi e Pi são consideravelmente superiores aos observados em PoH.

As árvores do povoamento homogêneo (Poh) apresentaram valor de Hf superior às árvores das duas áreas de pastagem (Tabela 2). Isto pode ser explicado, em parte, pelo fato das árvores de PoH estarem adensadas (espaçamento 3x3 m) e sem nenhuma ocorrência de desrama ou desbaste. Ou seja, um ambiente de intensa competição entre árvores. Isto pode ter contribuído, ao longo dos anos, para a morte e queda de galhos grandes, formadores de ramificações, formando fustes mais longos em idade mais avançada.

Quanto ao DAP (19,18 cm) das árvores de PoH, os valores foram substancialmente menores do que os valores de DAP das árvores das pastagens

(Tabela 2). Isto também é explicado pela não realização de desbastes durante os 25 anos do povoamento. A intensa competição entre as árvores limitou o seu crescimento.

O DAP das árvores de borda de PoH, por estarem sob menor grau de competição, podem dar uma dimensão da limitação da produção pela não realização dos desbastes, além de fornecer um melhor indicativo potencial de crescimento do cumbaru em povoamentos homogêneos. O DAP das árvores de borda foi de 30,69 cm, valor 37,5% superior às demais árvores do povoamento, com valor mínimo de 15,95 cm e máximo 48,05 cm. Essa diferença de valores destaca a importância da realização de desbastes (Santos et al., 2015), assim como a escolha adequada do espaçamento de plantio, para otimizar a produtividade de um povoamento (Tonini e Arco-Verde, 2005; Roman, Bressan, Durlo, 2009; Dionisio et al., 2017).

Aguiar et al. (1992) estudaram povoamentos homogêneos de cumbaru com espaçamentos de 3,0 x 1,0 m, 3,0 x 1,5 m e 3,0 x 2,0 m, com 20 anos e não manejados. Tal condição é semelhante à PoH do presente estudo (povoamento de 25 anos, não manejado, com espaçamento de 3,0 x 3,0 m). Os autores relatam Ht de 11,45 m, Hf de 5,01 m, DAP de 13,30 cm para o espaçamento de 3,0 x 2,0 m. Os valores de Ht (15,23 m), Hf (6,21 cm) e DAP (19,18 m) obtidos pelo nosso estudo para PoH foram superiores. No entanto, vale ressaltar que a idade de avaliação do nosso estudo foi aos 25 anos e o espaçamento adotado foi maior. Além disso, a sobrevivência relatada pelos autores foi de 84%, enquanto no nosso estudo foi 68% apenas. Desta forma, além do espaçamento mais amplo, a elevada taxa de mortalidade do presente estudo contribuiu para um grau de competição menos intenso do que no estudo de Aguiar et al. (1992), o que deve ter contribuído para os maiores valores de Ht e DAP para o povoamento homogêneo do nosso estudo.

Os autores sugerem a realização de desbaste em torno de 10 anos para espaçamento de 3,0 a 1,5 m. No entanto, não foi feita uma análise técnica sólida para a definição dessa idade de desbaste. A sugestão foi feita com base no trabalho de Aguiar et al. (1983), que realizou estudo na mesma área, aos 10 anos

de idade, e balizada pelos resultados do estudo aos 20 anos de idade, realizados pelos primeiros autores.

É provável que a necessidade de desbaste em povoamentos homogêneos de cumbaru seja antes dos 10 anos. A carência de informações precisas demanda estudos para determinação de idade de desbastes com maior assertividade e embasamento sólido. Estudos de análise tronco (ANATRO) em povoamentos da espécie podem fornecer essa informação. Ainda é importante considerar que a idade para realização de desbastes depende de outros fatores, como o espaçamento inicial do povoamento.

Silva et al. (2020) trabalhou com espécie congênere, *Dipteryx odorata* Aubl Willd, espécie de múltiplo uso, assim como *Dipteryx alata*, mas de maior aptidão madeireira devido às características de tronco. Os autores avaliaram a morfometria da espécie em diferentes arranjos de agroflorestas, de 6 a 10 anos de idade, com diferentes espaçamentos e tipos de manejo. Os valores de Hf foram de 0,6 m, 0,7 m, 1,3 m, 1,9 m e 2,8 m, nos diferentes sistemas. Os valores são baixos para a espécie, e menores do que os valores de Hf do cumbaru, do nosso estudo. Os autores inferem que a ocorrência de fustes curtos provavelmente está relacionada ao manejo para produção de frutos e sementes. Isto indica que estratégias de manejo podem favorecer ou prejudicar a formação de fustes longos, ou ainda, favorecer a formação de copa, o que demanda estudos com esse viés para uma melhor compreensão desse fenômeno.

Gardin, Watzlawick, Giloni-Lima (2020) atribuíram à diferença de idade, associada à diferença de idade sucessionais, a alta variabilidade dos dados. No nosso estudo, mesmo no povoamento equiâneo, Hf e DAP apresentaram valores de CV% elevados (52,39% e 38,13%, respectivamente). No entanto, valores elevados de CV% são comuns em trabalhos de morfometria de árvores (Roman, Bressan, Durlo, 2009); Dionisio et al., 2017; Silva et al., 2017; Reis et al., 2021) mesmo em povoamentos homogêneos e equiâneos (Reis et al., 2021). Muitos trabalhos não mencionam o CV% de suas variáveis.

É provável que a população de cumbarus de Pñi esteja mais envelhecida do que a população de Pi, uma vez que apresenta maior proporção de indivíduos

nas maiores classes de DAP, se comparada à população de Pi (Figura 4). A baixa representatividade de indivíduos nas primeiras classes de DAP, associada a uma distribuição muito distante do formato “j invertido” (Figura 4), indica uma situação de risco à perpetuação da população, pois é um padrão característico de ausência de regeneração natural (Dionísio et al., 2017). A não observância de indivíduos regenerantes nas pastagens corroboram esse padrão observado. A distribuição diamétrica no formato de “j invertido” é característica da estrutura diamétrica de florestas nativas (Gardin, Watzlawick, Giloni-Lima, 2020). Populações ou comunidades que se enquadrem nesse modelo, são consideradas estáveis (Durigan, 2012). Battilani et al. (2011) reportaram esse padrão de distribuição diamétrica para comunidades arbóreas de Florestas Estacionais Semidecíduais no Pantanal.

Desta forma, os resultados indicam tendência de redução populacional nas pastagens ao longo do tempo, devido à ausência de regeneração, o que quebra o fluxo de recrutamento de indivíduos. Os fatores que podem estar determinando essa condição é o manejo das pastagens através da realização de roçada, aplicação de herbicidas, além do pisoteio e consumo de plantas pelo gado. Essa situação preocupante também foi reportada por Dionísio et al. (2017), para população de árvores isoladas de *Bertholletia excelsa* em pastagens da Amazônia. O potencial de regeneração de espécies nativas em pastagens cultivadas é altamente variável, sendo influenciado pela intensidade de manejo e competição com gramíneas exóticas (Silva et al., 2023).

A presença de árvores nativas em pastagens é um fator que contribui para a conservação de espécies e manutenção de patrimônio genético. Porém, a ausência de regeneração, associada à tendência de senescência da população, mostra que a população de cumbarus não se perpetuara nas pastagens, o que afeta negativamente a conservação da espécie, levando à perda de material genético, além da redução populacional.

O cumbaru produz castanha de interesse comercial, contribuindo para a renda de famílias no Cerrado e Pantanal (Melo et al., 2017; Magalhães, 2019), que obtêm o fruto de forma extrativista. Sendo assim, além do prejuízo sob a

ótica da conservação dos recursos naturais, a instabilidade da população dos cumbarus em pastagens pode prejudicar pessoas que obtêm renda complementar através do extrativismo da castanha. Sabe-se que as áreas de pastagem são utilizadas para coleta de frutos, além das áreas de cerrado nativo (Santos et al., 2024). A coleta de frutos em áreas de pastagens também contribui para redução dos impactos ambientais antrópicos sobre áreas de vegetação nativa primária ou secundária. Desta forma, a redução da população de cumbarus em pastagens, ao longo dos anos, pode contribuir para aumentar a pressão e os impactos sobre as populações das espécies em vegetação nativa.

Conclusões

O cumbaru em pastagem não inundável é de maior porte em comparação ao cumbaru em pastagem inundável, apresentando valores superiores para todas as variáveis dendrométricas (Ht, Hf, DAP, Hbc, Dc e Apc) com exceção de Cc.

As árvores de pastagem inundável e não inundável também se diferenciam quanto aos atributos morfométricos de Pc e Fc, enquanto povoamento homogêneo não desbastado apresenta Ge muito superior às árvores dos ambientes de pastagem.

Em pastagem não inundável, o DAP das árvores apresenta correlação positiva forte com Ht e moderada com Dc e Apc, e negativa moderada com Ge, enquanto em pastagem inundável a correlação do DAP foi positiva forte com Ht e Cc, negativa forte com Is e moderada com Fc e Ge. Já para PoH, o DAP apresentou correlação positiva muito forte com Ht e negativa com Ge.

A capacidade de sombreamento sobre o pasto e a aptidão de uso da espécie em solos inundáveis e não inundáveis é distinta, dada a ampla diferença entre Ht, Hf, DAP e Dc das árvores de Pñi e Pi, esta última com os menores valores. Em solo inundável, o Dc é menor, o que indica que as copas das árvores em pastagem inundável permitem maior passagem de luz para as gramíneas.

Ambiente inundável afeta negativamente o crescimento do cumbaru. Apesar disso, a espécie tem potencial de uso nesse tipo de condição edáfica, apresentando características mais propícias para produção de frutos (castanha) do que para produção de madeira. Em solo não inundável, as características do cumbaru apontam para uma maior aptidão para produção de madeira em comparação às árvores de solo inundável.

Baseado nas características dendrométricas e morfométricas, das árvores, é possível plantar cumbaru em espaçamentos mais adensados em ambientes inundáveis, em comparação a ambientes não inundáveis.

As áreas abertas (Pñi) do IFMT Campus Cáceres constituem uma boa opção para coleta de sementes de cumbaru, pois abrigam uma população de mais de 100 árvores, protegidas do fogo, corte, e são acessíveis. Além disso, IFMT é uma área pública e o uso do seu espaço para coleta de sementes potencializa os serviços prestados à sociedade pela instituição. Recomenda-se avaliar a variabilidade genética da população.

Agradecimentos

Ao Sr. Fábio Gustavo e Sr. Gilmar, proprietários dos sítios onde o estudo foi realizado.

Referências

- AGUIAR, I. B. de; VALERI, S. V.; ISMAEL, J. J.; ALHO, D. R. Efeitos do espaçamento no desenvolvimento de *Dipteryx alata* Vog. em Jaboticabal-SP, até a idade de 20 anos. **Revista do Instituto Florestal**, v. 4, n. 2, p. 570-572, 1992.
- AGUIAR, I. D.; ALOI, S.; TAVARES, L.; MINEHIRA, T. Efeitos do espaçamento no comportamento silvicultural de *Coumarouna alata* (Vog.) Taub. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4., 1982, Belo Horizonte. **Anais** [...]. Belo Horizonte, MG, 1982. p. 126-128.
- AGUIAR JUNIOR, A. L. de; ABREU, G. M.; OLIVEIRA NETO, S. N. de; SOUZA, D. M. S. C.; OBOLARI, A. D. M. M.; GUIRARDI, B. D.; MELO, L. A. de. Ideótipo arbóreo para Sistemas Agroflorestais. **Advances in Forestry Science**, v. 8, n. 1, p. 1349-1362, 2021.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. D. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ANDRADE, H. S. F. D.; BARONI, G. D. R.; BRANCALION, P. H. S.; MORAES, M. L. T. D.; SILVA, P. H. M. D. Parâmetros genéticos de crescimento inicial e frutificação de *Dipteryx alata* Vogel em teste de progênie e espaçamento. **Scientia Forestalis**, v. 48, n. 126, p. 1-10, 2020.

BATTILANI, J. L.; FERREIRA, C. M. M.; PENATTI, N. C.; VIDOTTO, C.; DAMASCENO, G.; POTT, A. Análise Comparativa da Estrutura de Capões de Floresta Estacional Semidecídua na Sub-Região do Pantanal de Miranda, MS, Brasil, com Diferentes Métodos de Amostragem. In: **Fitossociologia no Brasil: Métodos e estudos de casos**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2011. p. 520-536.

DESBIEZ, A. L. J.; BORGES, P. A. L. Density, habitat selection and observations of South American coati *Nasua nasua* in the central region of the Brazilian Pantanal wetland. **Small Carnivore Conservation**, v. 42, p. 14-18, 2010.

DIONISIO, L. F. S.; CONDÉ, T. M.; GOMES, J. P.; MARTINS, W. B. R.; SILVA, M. T. da; SILVA, M. W. da. Caracterização morfométrica de árvores solitárias de *Bertholletia excelsa* HBK no sudeste de Roraima. **Revista Agro@mbiente Online**, v. 11, n. 2, p. 163-173, 2017.

DURIGAN, G. Estrutura e diversidade de Comunidades florestais. In: MARTINS, V. S. (org.). **Ecologia de florestas tropicais do Brasil**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2009. p. 185-215.

DURLO, M. A.; DENARDI, L. Morfometria de *Cabralea canjerana*, em mata secundária nativa do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v. 8, n. 1, p. 55-66, 1998.

DURLO, M. A.; SUTILI, F. J.; DENARDI, L. Modelagem da copa de *Cedrela fissilis* Vellozo. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 2, p. 79-89, 2004.

GARDIN, E.; WATZLAWICK, L. F.; GILONI-LIMA, P. C. Caracterização morfométrica da *Curitiba prismatica*. **Advances in Forestry Science**, v. 7, n. 1, p. 881-887, 2020.

GOEBEL, L. A.; RODRIGUES LONGO, G.; SILVA, J. M. S. da; RIBEIRO, T.; SILVA LARA, L. F. da; SANTOS-FILHO, M. dos; BOGONI, J. A. Potential seed dispersal of cumbaru (*Dipteryx alata*) by fruit-eating bats (*Artibeus* sp.) in a Brazilian urban context. **Mammalia**, v. 88, n. 5, p. 426-430, 2024.

GOEBEL, L. G. A.; VITORINO, B. D.; FROTA, A. V. B.; SANTOS-FILHO, M. dos. Body mass determines the role of mammal species in a frugivore-large fruit interaction network in a Neotropical savanna. **Journal of Tropical Ecology**, v. 39, p. e12, 2023.

HELLMANN, S.; WATZLAWICK, L. F.; LIMA, P. C. G. de; LIMA, V. A. de. Morfometria e relações dendrométricas de *Eugenia pyriformis* Cambess. **Acta Biológica Catarinense**, v. 7, n. 3, p. 37-45, 2020.

JUNK, W. J.; PIEDADE, M. T. F.; LOURIVAL, R.; WITTMANN, F.; SCHÖNGART, J.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; AGOSTINHO, A. A.; NÓBREGA, R. L. B.; CAMARGO, F. Parte I: Definição e classificação das áreas úmidas (AUs) brasileiras: base científica para uma nova política de proteção e manejo sustentável. *In*: NUNES DA CUNHA, C.; PIEDADE, M. T. F.; JUNK, W. J. (org.). **Classificação e delineamento das áreas úmidas brasileiras e de seus macrohabitats**. Cuiabá: EdUFMT, 2015. p. 13-76.

LEITE, M. B.; XAVIER, R. O.; OLIVEIRA, P. T. S.; SILVA, F. K. G.; SILVA MATOS, D. M. Groundwater depth as a constraint on the woody cover in a Neotropical Savanna. **Plant and Soil**, v. 426, p. 1-15, 2018.

NUNES DA CUNHA, C.; BERGIER, I.; TOMAS, W. M.; DAMASCENO-JÚNIOR, G. A.; SANTOS, S. A.; ASSUNÇÃO, V. A.; SARTORI, A. L. B.; POTT, A.; ARRUDA, E. C. de; GARCIA, A. da S.; NICOLA, R. D.; JUNK, W. J. Classificação dos Macrohabitat do Pantanal Brasileiro: Atualização para Políticas Públicas e Manejo de Áreas Protegidas. **Biodiversidade Brasileira**, v. 13, p. 1-26, 2023.

RAGUSA-NETTO, J. Seed removal of *Dipteryx alata* Vog. (Leguminosae: Faboidae) in the edge and interior of Cerrado. **Brazilian Journal of Biology**, v. 77, n. 4, p. 752-761, 2017.

RAGUSA-NETTO, J. Feeding ecology of the Red-and-green Macaw (*Ara chloropterus*; Gray 1859) in a habitat mosaic from Cerrado. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, p. e280711, 2024.

REIS, L. H. V.; ROCHA, L. F.; SANTOS, J. A. dos; SOUZA, C. R. de; TRAZZI, P. A.; BARBOSA, L. O.; CARVALHO, D. de. Morphometric characterization of *Khaya senegalensis* in southern Minas Gerais State, Brazil. **Cerne**, v. 27, p. e-102871, 2021.

RIBEIRO, J. W. F.; GONÇALO, R. R.; KOLB, R. M.; DENHAM, A. Waterlogging as an environmental filter to tree recruitment in tropical wet grasslands. **Australian Journal of Botany**, v. 69, n. 8, p. 543-553, 2021.

ROLIM, S. G.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; PIOTTO, D. A. N. I. E. L.; BATISTA, A. L. A. N.; FREITAS, M. L. M.; JUNIOR, S. B.; CALMON, M. I. G. U. E. L. **Research gaps and priorities in silviculture of native species in Brazil**. São Paulo: World Resources Institute, 2019.

ROMAN, M.; BRESSAN, D. A.; DURLO, M. A. Variáveis morfológicas e relações interdimensionais para *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud. **Ciência Florestal**, v. 19, n. 4, p. 473-480, 2009.

SALMAN, A. K.; ANDRADE, C. M. S.; GHISI, O. M. A. A.; ASSIS, G. M. L. Método de seleção de espécies arbóreas para sistemas silvipastoris. *In*: ANDRADE, C. M. S. *et al.* (org.). **Guia arbopasto: manual de identificação e seleção de espécies arbóreas para sistemas silvipastoris**. Brasília, DF: Embrapa, 2012. p. 56-90.

SANTOS, A. T. D.; MATTOS, P. P. D.; BRAZ, E. M.; ROSOT, N. C. Determinação da época de desbaste pela análise dendrocronológica e morfométrica de *Ocotea*

porosa (Nees & Mart.) Barroso em povoamento não manejado. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 3, p. 699-709, 2015.

SANTOS, F. M.; MAGALHÃES, H. F.; LUCENA, C. M. de. Mudanças no uso da terra e seus impactos na conservação de *Dipteryx alata* Vog. no corredor extrativista do Cerrado em Mato Grosso do Sul, Brasil: uma revisão crítica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 17, n. 5, p. 3945-3959, 2024.

SANTOS, T. S.; MARTINS, K.; AGUIAR, A. V.; BAPTISTA FILHO, M. J.; MENUCELLI, J. R.; FARIA, R. F. P.; LONGUI, E. L. Growth and wood quality traits in a *Dipteryx alata* Vog. (Fabaceae) progeny and provenance test. **Forest Science**, v. 67, n. 4, p. 468-477, 2021.

SILVA, T. R.; RODRIGUES, S. B.; BRINGEL, J. B. de A.; SAMPAIO, A. B.; SANO, E. E.; VIEIRA, D. L. M. Factors affecting savanna and forest regeneration in pastures across the cerrado. **Journal of Environmental Management**, v. 330, p. 117185, 2023.

THE JAMOVİ PROJECT. **jamovi**. (Version 2.6) [Software]. 2024. Disponível em: <https://www.jamovi.org>.

VIEIRA, D. L.; SANO, E. E.; SILVA, T. R. A classification of cultivated pastures in the Brazilian Cerrado for sustainable intensification and savanna restoration. **Ambio**, v. 51, n. 5, p. 1219-1226, 2022.

CONSIDERAÇÕES FINAIS GERAIS

O baru é uma espécie de grande potencial de uso econômico e ambiental. Seu uso pode proporcionar impactos econômicos, ambientais e sociais positivos, principalmente no Cerrado e Pantanal. A espécie ocorre naturalmente nessas regiões e é utilizada para produção extrativista de castanha de baru, servindo como fonte de renda para algumas famílias.

Esta tese traz importantes aplicações e potencializam ainda mais o uso da espécie. No Pantanal é comum a ocorrência de pastagens temporariamente inundáveis, com baixo grau de inundação. Essas áreas, cuja condição edáfica de inundação é um fator limitante ao estabelecimento de espécies arbóreas, geralmente são utilizadas para pecuária solteira e extensiva. Porém, nossos resultados indicam que o baru consegue se estabelecer em solos inundáveis, a

partir do plantio de mudas, com elevada taxa de sobrevivência, tolerando 30 dias ininterruptos de inundação.

Se uma das barreiras para a formação de sistemas silvipastoris é a seleção adequada de espécies arbóreas, devido à carência de conhecimento, nossos estudos contribuem significativamente para a formação de sistemas silvipastoris em solos inundáveis. O baru pode ser utilizado para arborizar as pastagens inundáveis, desempenhando não apenas as funções ambientais inerentes ao componente arbóreo em sistemas silvipastoris, mas desempenhando uma função econômica, através de produção de castanha e madeira. Em sistemas silvipastoris, a produtividade do rebanho é beneficiada pela melhoria da ambiência animal em decorrência da melhoria do microclima em função do sombreamento proporcionado pelas árvores. As árvores contribuem para melhorar a qualidade do solo e a qualidade da pastagem.

Esse efeito positivo das árvores sobre a produtividade da pecuária, contribui para a conservação dos remanescentes florestais, uma vez que o aumento da produtividade implica em redução da necessidade de abertura de mais área para produção.

No entanto, os resultados não são aplicáveis apenas na produção. Os resultados indicam que o baru pode ser utilizado na restauração de áreas sujeitas à inundação temporária, com baixo grau de inundação (como as bordas do Pantanal) a partir do plantio de mudas. Outras características de interesse para a restauração é o fato da espécie ser atrativa à fauna, pelo fornecimento de frutos, e possibilitar o uso econômico no processo de restauração, possibilitando amortizar os custos da restauração e o uso da área por extrativistas, através da produção de castanha.