

OBJETIVOS DE
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

2 FOME ZERO
E AGRICULTURA
SUSTENTÁVEL



OBJETIVOS DE
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

15 VIDA
TERRESTRE



Considerações científicas de duas espécies de jatobá de ocorrência no bioma Cerrado



***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Cerrados
Ministério da Agricultura e Pecuária***

DOCUMENTOS 408

Considerações científicas de duas espécies de jatobá de ocorrência no bioma Cerrado

Sebastião Pires de Moraes Neto

***Embrapa Cerrados
Planaltina, DF
2023***

Exemplar desta publicação disponível gratuitamente no link: <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br>

Embrapa Cerrados
BR 020, Km 18, Rod. Brasília / Fortaleza
Caixa Postal 08223
CEP 73310-970 Planaltina, DF
Fone: (61) 3388-9898
Fax: (61) 3388-9879
embrapa.br/cerrados
embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações da Unidade

Presidente
Lineu Neiva Rodrigues

Secretário-executivo
Gustavo José Braga

Secretária
Alessandra S. Gelape Faleiro

Membros
*Alessandra Silva Gelape Faleiro;
Alexandre Specht; Edson Eyji Sano;
Fábio Gelape Faleiro; Gustavo José Braga;
Jussara Flores de Oliveira Arbues;
Kleberon Worsley Souza;
Ranyse Barbosa Quirino da Silva;
Shirley da Luz Soares Araujo*

Supervisão editorial e revisão de texto
Jussara Flores de Oliveira Arbues

Normalização bibliográfica
Shirley da Luz Soares Araújo (CRB 1/1948)

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Wellington Cavalcanti

Foto da capa
Sebastião Pires de Moraes Neto

Impressão e acabamento
Alexandre Moreira Veloso

Publicação digital (2023): PDF

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Cerrados

Moraes Neto, Sebastião Pires de.

Considerações científicas de duas espécies de jatobá de ocorrência no bioma Cerrado / Sebastião Pires de Moraes Neto. – Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2023.

PDF (81 p.) : il. color. (Documentos / Embrapa Cerrados, ISSN 1517-5111, ISSN on-line 2176-5081, 408).

1. *Hymenaea courbaril*. 2. *Hymenaea stilbocarpa*. 3. Recurso natural. I. Título. II. Série.

CDD (21. ed.) 634.973766

Autor

Sebastião Pires de Moraes Neto

Engenheiro Florestal, doutor em Ciências Biológicas,
pesquisador da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF

Apresentação

O jatobá foi tratado neste documento, em sua maior parte, pelas espécies arbóreas *Hymenaea courbaril* e *Hymenaea stigonocarpa* e, algumas de suas variedades, que ocorrem no bioma Cerrado. Dessas, extrai-se produtos como madeira, fruto comestível e compostos químicos de partes de sua estrutura (casca, seiva, frutos e sementes, folhas), os quais são utilizados para fins industriais e medicinais. Quanto à madeira, é usada na construção naval, civil, mobiliário e, especialmente, para pisos, destacando-se os decks, os quais, em junho de 2023, estava cotado para exportadores brasileiros a US\$ 2,383.00 por metro cúbico, e a madeira serrada, a US\$ 1,734.00 por metro cúbico. Do seu fruto, utiliza-se a polpa farinácea, que pode ser usada para a confecção de pães e biscoitos, e também é consumida in natura por muitos animais e seres humanos. Na medicina popular, é empregada no tratamento de diversas enfermidades, incluindo bronquite e doenças cardíacas.

Procurou-se, neste documento, abordar assuntos, mesmo que parcialmente, como estrutura genética de populações, sementes e produção de mudas, comportamento fisiológico das plantas frente às condições ambientais, ecologia e restauração florestal, dendrocronologia, microrganismos simbióticos e atributos da madeira trabalhada. Esperamos, por meio desta compilação, preencher algumas lacunas do conhecimento do leitor, motivando-os a novas pesquisas sobre essas espécies e, mesmo, sobre o gênero *Hymenaea* como um todo.

Este trabalho contribui para o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) números 2 e 15, que visam alcançar a gestão sustentável dos recursos naturais e a manutenção da diversidade genética de sementes, inclusive por meio de bancos de sementes e plantas diversificadas. Os 17

ODS foram estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 2015 e compõem uma agenda mundial para a construção e implementação de políticas públicas que visam guiar a humanidade até 2030. Essas ações contam com o apoio da Embrapa para que sejam atingidas.

Sebastião Pedro da Silva Neto
Chefe-Geral da Embrapa Cerrados

Sumário

Introdução.....	9
Características botânicas, distribuição geográfica e usos.....	10
Estrutura genética de populações.....	17
Biotecnologia.....	24
Sementes e produção de mudas.....	26
Fisiologia vegetal.....	35
Ecologia e restauração florestal.....	48
Silvicultura.....	53
Microrganismos simbióticos.....	60
Atributos da madeira trabalhada e sujeita a intempéries.....	62
Considerações finais.....	68
Referências.....	68

Introdução

O gênero de leguminosas *Hymenaea* da tribo Detarieae há muito é considerado um gênero neotropical. Com o restabelecimento de *Hymenaea* registrado na flora africana, o gênero voltou a ter uma distribuição em ambos os lados do Oceano Atlântico. Embora todas as espécies de *Hymenaea*, exceto uma, sejam neotropicais, evidências claramente apoiam uma origem africana para o gênero, sendo a Bacia Amazônica um centro secundário de distribuição. A espécie africana *H. verrucosa* está restrita à costa tropical leste e às ilhas costeiras adjacentes, ocorrendo em florestas de planície sazonalmente secas. No Novo Mundo, até o momento, foram reconhecidas 17 espécies que abrangem os trópicos, ocorrendo de 23 °N a aproximadamente 25 °S e ocupando todos os principais tipos de ecossistemas, desde a floresta equatorial até a caatinga (Lee e Langenheim, 1974). Neste trabalho, destacam-se duas espécies que ocorrem no Cerrado, ambas com vocação madeireira, alimentar e medicinal: *Hymenaea courbaril* L. e *Hymenaea stigonocarpa* Mart. ex Hayne. Na Figura 1, é possível ver a área de ocorrência das duas espécies no território nacional.

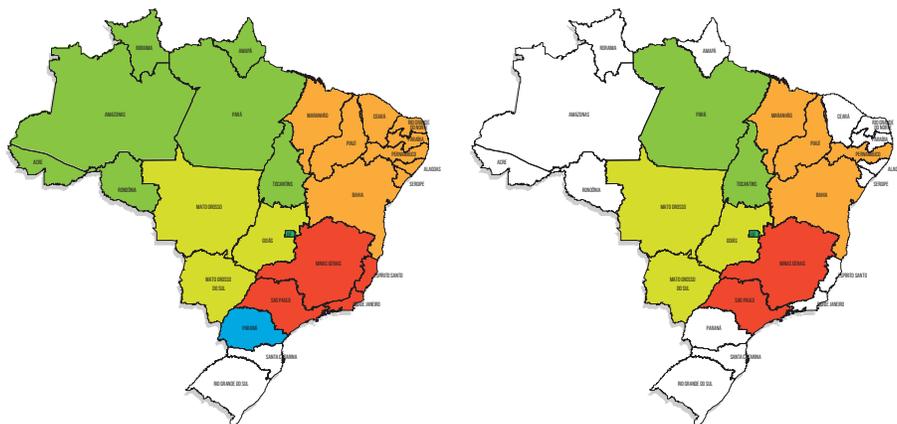


Figura 1. Área de ocorrência no Brasil de *Hymenaea courbaril* (esquerda) e *Hymenaea stigonocarpa* (direita).

Fonte: Pinto et al. (2023a) e Pinto et al. (2023b).

Características botânicas, distribuição geográfica e usos

Hymenaea courbaril

Hymenaea courbaril L. é da família Fabaceae. Tem como sinônimos relevantes o basônimo *Hymenaea courbaril* L. var. *courbaril* e heterotípicos: *Hymenaea courbaril* var. *stilbocarpa* (Hayne) Y. T. Lee & Langenh., *Hymenaea courbaril* var. *subsessilis* Ducke, *Hymenaea courbaril* var. *villosa* Y. T. Lee & Langenh. e *Hymenaea stilbocarpa* Hayne (Pinto et al., 2023a). É uma árvore inerme, caducifólia, heliófila, monoica, resinífera, podendo atingir até 30 m de altura e um diâmetro à altura do peito (DAP) de 90 cm. O tronco geralmente é reto, longo e levemente cônico; muitas vezes apresenta resina solidificada na superfície (Árvores do Bioma Cerrado, 2017a). Em indivíduos jovens, a base do tronco se apresenta na forma digitada, e quando adultas, as raízes são superficiais e longas. A casca é bege e cinza, às vezes marrom. As folhas são alternas, pecioladas, compostas por dois folíolos (bifolioladas), oriáceas e falcadas (em forma de foice), medindo entre 6 cm e 10 cm de comprimento e 1,5 cm a 7 cm de largura. A flor possui cálice campanulado formado por 4 sépalas unidas na base e corola formada por 5 pétalas obovadas brancas e cremes. O fruto é um legume achatado e elipsoide, indeiscente, que apresenta a cor verde quando imaturo e marrom-escuro quando maduro, medindo de 5 cm a 15 cm de comprimento. As sementes, em número de duas a seis por fruto ou mais, apresentam formato obovoide a elipsoide, envoltas em material farináceo e aromático (Hopkins, 2004) (Figura 2).

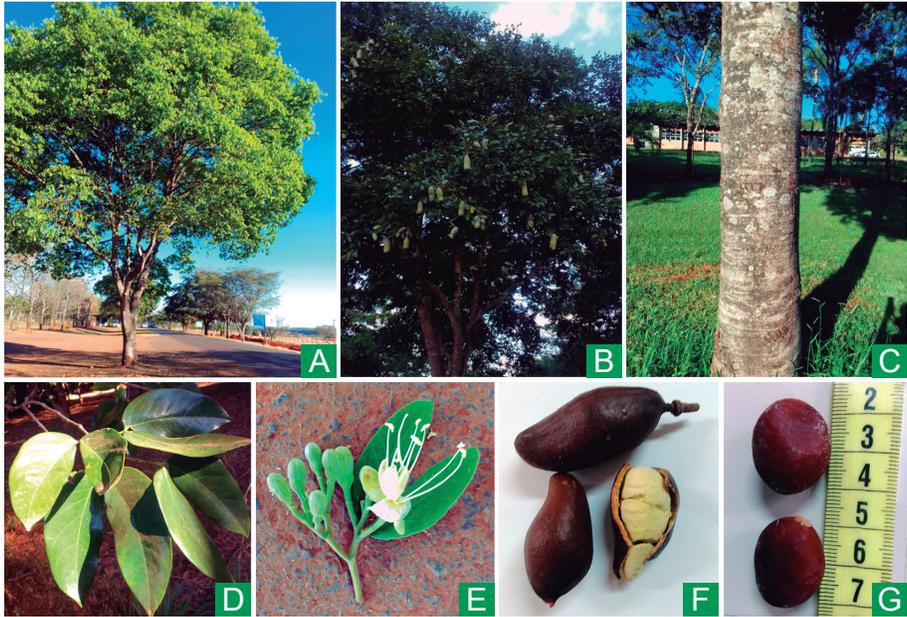
Domínios Fitogeográficos

Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal (Pinto et al., 2023a).

Tipo de Vegetação

Área Antrópica, Cerrado (lato sensu), Floresta Ciliar ou Galeria, Floresta de Terra Firme, Floresta Ombrófila (Floresta Pluvial), Restinga (Pinto et al., 2023a).

Ocorre nos tipos climáticos Af, As, Aw, Cwa, Cwb e raramente no Cfa, preferindo climas com temperatura média do mês mais frio entre 16 °C e 24 °C e do mês mais quente de 22 °C a 30 °C (Tonini; Arco-Verde, 2003).



Fotos: Sebastião Pires de Moraes Neto

Figura 2. *Hymenaea coubaril*. (A) vista geral da árvore; (B) frutos na árvore; (C) tronco; (D) folhas em detalhe; (E) flor; (F) frutos e visão da polpa farinácea; (G) sementes.

Hymenaea stigonocarpa

Hymenaea stigonocarpa Mart. Ex Hayne pertence à família Fabaceae-Detarioideae (Pinto et al., 2023b) e é amplamente distribuída no Cerrado brasileiro. São reconhecidas três variedades: *Hymenaea stigonocarpa* Mart. Ex Hayne var. *stigonocarpa*, *Hymenaea stigonocarpa* var. *pubescens* Benth e *Hymenaea stigonocarpa* var. *brevipetiolata* N. Mattos (Lee; Langenheim, 1975; Braga et al., 2019).

É uma árvore decídua. As árvores maiores atingem dimensões próximas de 20 m de altura e 50 cm de DAP (diâmetro à altura do peito medido a 1,30 m do solo), na idade adulta. O tronco é tortuoso, com fuste curto. A ramifica-

ção é dicotômica e a copa é baixa. A casca mede até 3 cm de espessura. A superfície da casca externa ou ritidoma é profundamente sulcada, de coloração pardo-avermelhada, com cristas planas e duras (Carvalho, 2007).

De acordo com Silva Junior et al. (2005), é uma árvore sem exsudação ao se destacar a folha. A copa possui ramos e gemas terminais pilosos, de cor castanha ou ferrugínea. Os troncos apresentam diâmetros de até 42 cm; ritidoma de cor acinzentada; com fissuras sinuosas e descontínuas. As folhas são compostas, bifolioladas; alternas, espiraladas; folíolos ovados a largo elípticos, de até 25 cm de comprimento e 7 cm de largura; ápices obtusos ou arredondados e bases assimétricas; com glândulas laminares; margens inteiras; nervação broquidódroma, nervuras principais e secundárias salientes na face inferior; pecíolos de até 2 cm de comprimento com pulvino, folíolos curto-peciolulados; estípulas caducas; folíolos coriáceos; concolores; pilosos em ambas as faces. A flores apresentam até 5 cm de diâmetro; com cinco pétalas livres de cor branca. Os frutos medem até 12 cm de comprimento; lenhosos; cilíndricos; de cor castanho-avermelhada quando maduras. As sementes têm até 2,5 cm de diâmetro; esferoides, globoides ou achatadas; de cor castanho-avermelhada (Figura 3).

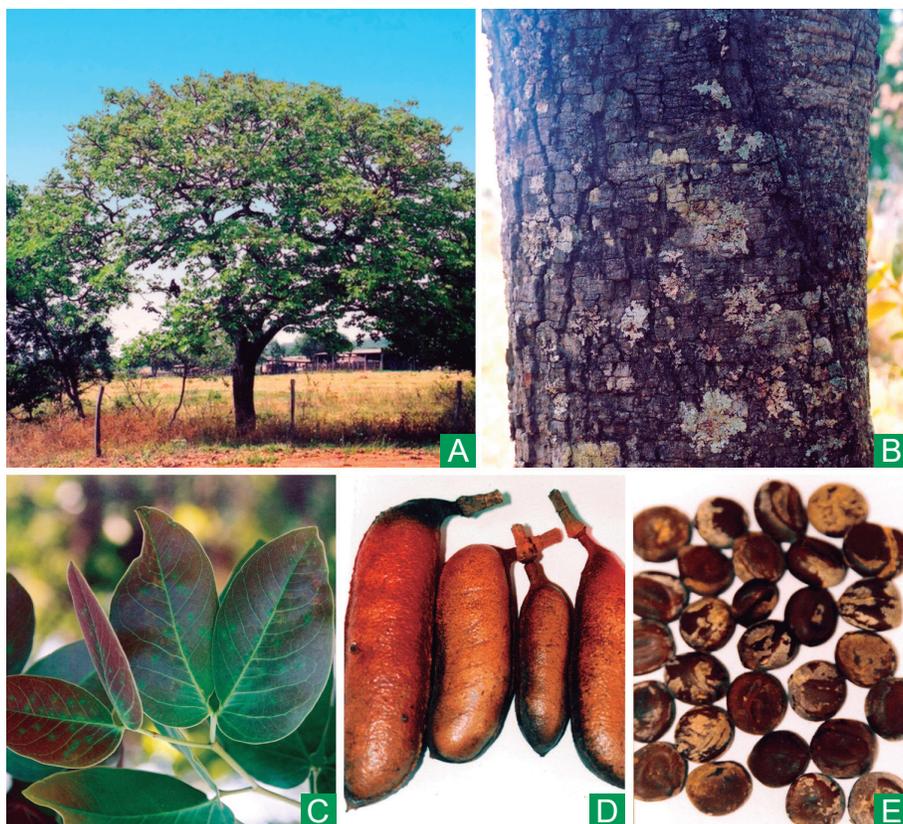
Habitat e distribuição – ocorre no campo sujo, campo cerrado, cerrado sentido restrito e cerradão, no Distrito Federal (DF) e Amazonas (AM), Bahia (BA), Ceará (CE), Goiás (GO), Maranhão (MA), Minas Gerais (MG), Mato Grosso do Sul (MS), Mato Grosso (MT), Pará (PA), Piauí (PI), São Paulo (SP) e Tocantins (TO).

Domínios Fitogeográficos

Amazônia, Caatinga, Cerrado, Pantanal (Pinto et al., 2023b).

Tipo de Vegetação

Área Antrópica, Caatinga (stricto sensu), Cerrado (lato sensu), Floresta Estacional Semidecídua (Pinto et al., 2023b).



Fotos: Paulo Emami Ramalho de Carvalho

Figura 3. Ilustração de *Hymenaea stigonocarpa* (jatobá-do-cerrado), apresentando a planta (A); o caule (B); as folhas (C); o fruto (D); e as sementes (E) desta espécie de jatobá.

Fonte: Carvalho (2006) – Embrapa.

Usos

Hymenaea courbaril

Sua madeira é de densidade alta, extremamente resistente à podridão, sendo amplamente utilizada e valorizada na carpintaria e na construção civil, abrangendo desde projetos civis até construção naval e fabricação de mobiliário. Os indígenas a utilizam na confecção de canoas. A resina que exsuda da

casca, quando cortada e exposta ao oxigênio, transforma-se em fragmentos vítreos amarelo-claros, translúcidos, chamados jutaica (ou copal-da-América), que são usados como verniz vegetal, combustível, incenso, para o poliimento e como impermeabilizante. A polpa do fruto é empregada na produção de farinha (Lee; Langenheim, 1975; Hopkins, 2004).

Pesquisadores do Laboratório de Engenharia de Produtos Naturais da Universidade Federal do Pará descobriram que o pó da semente de jatobá (*Hymenaea courbaril*) pode ser utilizado como coagulante no processo de transformação do látex de seringueira em borracha. Ao contrário das centrifugas utilizadas na indústria, que demandam grandes quantidades de energia. Ao contrário para retirar todo o líquido (soro) do látex, a mistura de pó de jatobá e látex não requer energia, já que o pó concentra o líquido, separando o soro e deixando apenas o creme que se transforma em borracha. Algumas comunidades já testaram e aprovaram o uso do pó da semente de jatobá (Shanley; Schulze, 2005).

É possível extrair resina, goma copal e resina aminada do tronco e ramos. Na resina é encontrada óleo essencial, que contém, entre seus componentes, ácidos brasilocopálico, brasilocopalínico e brasilocopaloresceno. Da casca, obtêm-se óleo essencial, tanino, matéria resinosa e matéria péctica. Estudos fitoquímicos detectaram a presença de diterpenos, tanto na resina quanto nos extratos da casca, sendo que os terpenos encontrados na resina apresentam várias atividades biológicas, incluindo proteção contra insetos (Cordeiro; Lameira, 2022).

Hymenaea stigonocarpa

A madeira de *H. stigonocarpa* se assemelha à de *H. courbaril* e *H. martiana*, mas, devido ao pequeno comprimento e à tortuosidade do tronco da maioria dos indivíduos, é mais utilizada na construção de cercas, pequenas edificações no meio rural e confecção de cochos, móveis rústicos, peças para carros de bois e objetos decorativos, entre outros artefatos (Árvores do Bioma Cerrado, 2017b). Contudo, dependendo das condições ambientais e do genótipo, *H. stigonocarpa* pode atingir altura de 20 m, favorecendo, nesse caso, aplicações de uso de madeira semelhantes às de *H. courbaril* (Lee; Langenheim, 1975). A casca, mediante cocção, fornece uma tintura averme-

lhada usada no tingimento artesanal de fios de algodão. A resina do tronco e dos frutos pode ser empregada na fabricação de vernizes, mas no cotidiano é utilizada para fins medicinais. Essa espécie é adequada para arborização urbana, recomposição de cerrados desmatados, e deve ser preservada em seus habitats naturais, para fins de extração de frutos e resina, além de ser empregada na formação de pomares de fruteiras não convencionais (Árvores do Bioma Cerrado, 2017b).

A polpa pulverulenta é consumida por animais e pessoas, tanto in natura quanto sob a forma de mingau, bolo e biscoito (Árvores do Bioma Cerrado, 2017b). Duarte et al. (2013) observaram que a adição de farinha de jatobá junto com a farinha de trigo na elaboração de pães do tipo forma, quando comparados aos comercializados, apresentou mais que o dobro de fibras totais, um melhor perfil lipídico de gorduras mono e poli-insaturadas mais saudável e quase dez vezes menos sódio do que o pão tradicional. Na Tabela 1, é mostrada a caracterização físico-química da farinha do jatobá do Cerrado (*Hymenaea stigonocarpa*) de acordo com Martins (2006).

Tabela 1. Caracterização físico-química, composição centesimal (100 g do produto) e valor calórico da farinha (polpa) do jatobá-do-cerrado in natura e processado (desidratado), em base seca.

Constituinte	Farinha de jatobá in natura	Farinha de jatobá desidratada
pH	5,69	5,72
Acidez total (%)	27,54	29,48
Atividade de água	0,64	0,43
Umidade (%)	9,50	3,03
Cinzas (%)	3,07	4,03
Proteínas (%)	5,83	5,64
Lipídios (%)	1,80	1,61
Glicídios totais (%)	35,40	39,33
Glicídios redutores (%)	12,27	12,23
Glicídios não redutores (%)	23,13	27,10
Valor calórico (kcal)	181,12	194,42

Fonte: Martins (2006).

Propriedades medicinais

Hymenaea courbaril

De acordo com Cipriano et al. (2014):

Extratos hidroetanólicos brutos obtidos do súber de *H. courbaril* mostraram propriedades antibióticas ao ser testado contra o isolado clínico meticiclina-resistente de *Staphylococcus aureus* (MRSA) (Aleixo et. al, 2013). O flavonoide astibilina e o ácido oleanólico isolados do súber de *Hymenaea courbaril* apresentaram atividade relaxante sobre o musculo-liso traqueal de ratos pré-contraindidos com K^+ , demonstrando propriedades miorelaxante, antioxidante e antiinflamatória (Bezerra, 2013). Bontempo (2000) relata que o súber desta espécie, em cozimento, é eficiente no tratamento de hemoptises, hematuria (emissão de urina com sangue), diarreia, disenteria, cólicas ventrais, e acrescenta que o vinho de jatobá retirado do caule é um potente fortificante para os músculos e ossos.

Em uma revisão do gênero *Hymenaea* para fins farmacológicos conduzido por Boniface et al. (2017) no Brasil, a casca de *Hymenaea courbaril* é macepada em água quente e consumida oralmente para diversas finalidades, tais como: falta de apetite, diarreia, hematuria, debilitação, adstringente, tônico e energizante, além de tratar catarro no trato respiratório e urinário, cistite, hepatite, prostatite e tuberculose, hemoptise, hematuria, diarreia, disenteria, cólicas, para fortalecimento do sistema e melhora do apetite. Também é utilizada como balsâmico, vermífugo e hemostático, e para problemas de bronquite, tosse, bexiga e próstata, além de propriedades adstringente. A infusão da casca de *H. courbaril* é tomada oralmente para tratar pé-de-atleta e fungos no pé, laringite, bronquite, hemorragia, bursite, infecções da bexiga, cistite, artrite e prostatite. Da mesma forma, as frutas e sementes são empregadas no tratamento dos problemas nos pulmões, rins, próstata e estômago. Na medicina popular panamenha, o fruto é usado para tratar úlceras na boca. A decocção das folhas é utilizada para aliviar a diarreia e a dor de estômago. A infusão das folhas é empregada no tratamento da bronquite, especialmente em crianças. Na Venezuela e Suriname, as folhas são utilizadas para tratar fraturas e feridas, e no Panamá, são empregadas no tratamento de diabetes. Quando misturada com mel de abelha, a seiva é usada para tratar doenças

cardíacas. Além disso, a seiva também é aplicada no tratamento de blenorragia, tosse, feridas, cistite e prostatite.

Hymenaea stigonocarpa

No que se refere a *Hymenaea stigonocarpa*, Boniface et al. (2017) mencionam as seguintes partes da planta para a cura de determinadas anomalias. A infusão da casca é ingerida por via oral para tratar febre, dor de estômago, dores no peito e nas costas, e como anti-helmíntico. A resina é fervida e administrada oralmente para problemas respiratórios. A decocção da casca é administrada oralmente para tratar hemoptise e hematúria. Um chá é preparado a partir da casca e consumido em conjunto com mel para tratar tosse, bronquite, catarro, asma e fraqueza pulmonar, bem como diarreia, disenteria e cólicas intestinais. A polpa da fruta também é utilizada como laxante, enquanto a resina é consumida como afrodisíaco. A infusão das folhas é administrada por via oral no tratamento da cistite. No Brasil, a fruta é misturada com etanol local, comumente chamado de cachaça, e utilizada como tônico energético natural.

Estrutura genética de populações

A estrutura genética das populações é determinada pela variabilidade genética, a qual depende de atributos da espécie, tais como o sistema reprodutivo, a polinização e a dispersão de sementes, bem como de características da paisagem, como a heterogeneidade ambiental e a perturbação antrópica. Neste item, abordaremos os atributos da espécie e a filogeografia, que faz parte dos atributos da paisagem.

Polinização e dispersão de sementes

A polinização da espécie *H. courbaril* ocorre por meio de morcegos, abelhas, beija-flores e moscas. A polinização por morcegos ocorre principalmente durante a noite, em árvores esparsamente distribuídas, enquanto outros polinizadores visitam as flores durante o dia (Crestana et al., 1985; Ramos et al., 2010). A dispersão das sementes é realizada por hidrocoria, autocoria (espe-

cialmente barocoria) e zoocoria, com grandes mamíferos desempenhando um papel importante, incluindo a anta (*Tapirus terrestris*), a cutia (*Dasyprocta azarae*), provavelmente a queixada (*Tayassu pecari*), o macaco-prego (*Cebus apella nigrurus*) e a paca (*Agouti paca*). Destaca-se a eficiência da paca, uma vez que as sementes, ao passarem pelo trato digestivo dos animais, superam a fase de dormência. Além disso, os frutos maduros também são muito apreciados por roedores, aves (especialmente araras e papagaios), cavalos, veados e macacos, que ao quebrarem os frutos, liberam as sementes, muitas vezes permitindo a germinação dentro dos frutos (Lee; Langenheim, 1975; Francis, 1990; Pedroni; Galetti, 1995; Tonini; Arco-Verde, 2003; Hopkins, 2004; Shanley; Schulze, 2005; Pedroso de Moraes et al., 2018).

Alguns estudos científicos brasileiros sobre *Hymenaea courbaril* relatam que o florescimento ocorre de dezembro a março, durante a estação chuvosa. Em matas de galeria no Distrito Federal, observados ao longo de 3 anos, o florescimento ocorreu todos os anos entre setembro e outubro, no início da estação chuvosa, enquanto a frutificação ocorreu em anos alternados, de janeiro a junho. Os frutos com sementes amadurecem aproximadamente 9 meses após o florescimento e são liberados ao longo de um período de 3 meses (Leite, 2007).

A polinização, dispersão de sementes e consumo da polpa farinácea e sementes de *Hymenaea stigonocarpa* são semelhantes aos de *Hymenaea courbaril*. Sua floração ocorre de setembro a outubro no estado de São Paulo, de outubro a dezembro, em Mato Grosso do Sul, de outubro a abril no Distrito Federal e em dezembro no Piauí. Os frutos maduros ocorrem de abril a julho no Distrito Federal, de julho a novembro em Mato Grosso do Sul, e em agosto em Minas Gerais (Carvalho, 2006).

Em *Hymenaea* a ocorrência de antese noturna, flores fortemente odoríferas, ramos curtos, robustos e fortemente flexuosos da inflorescência nivelando as flores do tipo escova de barbear aberta, a presença de extenso tecido nectarífero e retenção de néctar em uma corola amplamente tubular se encaixam bem em uma síndrome de polinização por morcegos. Além disso, um padrão de antese que promove a polinização por vetores que visitam as poucas flores que se abrem todos os dias durante um período de semanas é observado. Uma quantidade de néctar atrativa, porém não saciante, também comprova a ocorrência da síndrome da quiropterofilia (Lee; Langenheim, 1975).

A espécie *Hymenaea stigonocarpa* é polinizada por pelo menos quatro espécies de morcegos, incluindo os especializados *Glossophaga soricina* e os menos especializados frugívoros *Platyrrhinus lineatus* e *Carolilia perspicillata*. Cruzamentos controlados indicam que a espécie é autocompatível, apresentando indícios de seleção pós-zigótica nas flores autofecundadas (Gibbs et al., 1999).

Para atrair polinizadores, as flores possuem glândulas odoríferas que auxiliam na identificação das espécies que possuem atrativos alimentares, como o néctar. Essas glândulas odoríferas, chamadas osmóforos mesófilos, estão distribuídas de forma difusa nas sépalas/pétalas de *Hymenaea courbaril*. Essas glândulas são compostas por células da epiderme e do mesófilo, que secretam principalmente terpenos, compostos nitrogenados e fenóis. Os terpenos são encontrados em todos os osmóforos difusos estudados, sendo que em *H. courbaril* esse composto ocorre junto com fenóis. Além disso, polissacarídeos são detectados nas sépalas de *H. courbaril*, e o amido está presente no perianto (cálice e corola) de *H. courbaril* (Marinho et al., 2014).

Sistema reprodutivo

O sistema de acasalamento de *Hymenaea courbaril* var. *stilbocarpa* é o exocruzamento (Lee; Langenheim, 1975; Feres et al., 2009). Apesar de ser considerada uma espécie auto-incompatível (Lacerda et al., 2008; Feres et al., 2009), estudos recentes têm indicado a possibilidade de ocorrer autofecundação em *H. courbaril*, possivelmente pelo não funcionamento de controles pós-zigóticos em indivíduos mais isolados, nos quais a fertilização cruzada é prejudicada (Carneiro et al., 2011; Pereira, 2017).

Esse padrão de mudança no sistema reprodutivo devido ao isolamento também foi observado em *Hymenaea stigonocarpa*, que também é considerada como autoincompatível (Moraes; Sebbenn, 2011), contudo, estudos envolvendo acasalamentos controlados de *H. stigonocarpa* indicam que a espécie é autocompatível (Gibbs et al., 1999). Estimativas de taxa de cruzamento, baseadas em marcadores genéticos, têm confirmado esses resultados, indicando que a espécie possui um sistema reprodutivo misto (Moraes; Sebbenn, 2011).

O acasalamento das plantas pode ocorrer entre genitores não aparentados, aparentados ou autofecundados. Os cruzamentos nos dois últimos grupos são definidos como endogamia ou consanguinidade. A endogamia em árvores pode levar à depressão endogâmica (DE), a qual pode afetar a adaptação e o crescimento dos indivíduos. Pereira et al. (2020) investigaram como a endogamia pode afetar o crescimento das sementes e das plântulas de *Hymenaea courbaril*. O índice de fixação individual foi estimado para cada plântula, a partir do qual foram classificadas como oriundas de acasalamento entre genitores não aparentados (t_u), genitores aparentados (t_r) ou autofecundados (s). Essa classificação foi confirmada por análise de paternidade. As médias fenotípicas e a DE das características medidas foram calculadas para cada determinado grupo específico (s , t_r e $s + t_r$). Observou-se que o acasalamento não foi aleatório devido à ocorrência de autofecundação (1,3%) e acasalamento entre parentes (5%). A endogamia biparental (gerada por cruzamento entre mesmos parentes mais de uma vez) foi atribuída à estrutura genética espacial significativa até 250 m, ou seja, até essa distância, o coeficiente de coancestria (relacionado ao parentesco e à endogamia) é significativamente maior que zero.

O sistema de reprodução de árvores de *Hymenaea stigonocarpa* foi quantificado por Moraes et al. (2007) em duas pequenas populações fragmentadas e em árvores isoladas em pastagens, com uma distância mínima de 500 m entre elas. Observou-se que a taxa de cruzamento multilocos, que inclui o cruzamento entre não aparentados + aparentados, foi maior nas populações ($t_m=0,873$) do que nas árvores isoladas ($t^m=0,857$), embora a diferença não tenha sido estatisticamente significativa. A diferença entre a taxa de cruzamento multilocos e unilocos (taxa de cruzamento populacional entre não aparentados, t_s) – que representa a taxa de cruzamento entre aparentados – foi significativamente diferente de zero, tanto nas populações ($t_m - t_s = 0,301$, $P<0,05$) quanto nas árvores isoladas ($t_m - t_s = 0,276$, $P<0,05$), sugerindo a ocorrência de cruzamentos entre árvores aparentadas. Foi observada uma maior correlação de paternidade nas populações ($r_p=0,636$) em comparação com as árvores isoladas ($r_p=0,377$), o que indica cruzamentos correlacionados e a possibilidade de parte das progênies ser composta por irmãos completos. Não foi detectado um aumento na autofecundação em árvores isoladas em pastagens.

Outro fator importante para a compreensão do sistema reprodutivo é a análise dos padrões e das distâncias de dispersão do pólen em espécies arbóreas tropicais, o que é fundamental para o desenvolvimento de estratégias de conservação *in situ* e *ex situ*. Moraes e Sebbenn (2011) realizaram estudos em *Hymenaea stigonocarpa*, utilizando árvores isoladas e árvores em população (populações agrupadas) de *Hymenaea stigonocarpa*, e observaram que o pólen pode ser disperso por longas distâncias, chegando a até 7.353 m). Portanto, as árvores isoladas espacialmente não apresentaram isolamento reprodutivo. A taxa de imigração de pólen na população também foi alta (31%). Nas árvores isoladas, foi observada uma maior taxa de autofecundação ($s = 26\%$) em comparação com as árvores da população ($s = 12\%$), sugerindo que o isolamento espacial das árvores aumentou a autofecundação. No entanto, a autofecundação foi responsável por apenas 30% da endogamia na prole, com o acasalamento entre parentes representando os outros 70%. Na população, excluindo a autofecundação, cerca de 72% do pólen foi disperso em distâncias de até mil metros (média: 860 m) entre as árvores agrupadas.

Além disso, Moreno et al. (2022) conduziram um estudo em três populações distantes entre si de *H. stigonocarpa* no Cerrado e observaram que, apesar da extensa imigração de pólen (até 3,57 km numa das populações), a ocorrência de estrutura genética espacial e endogamia biparental reduziu a diversidade genética e o tamanho efetivo da população.

Filogeografia e diversidade genética

A filogeografia é definida como o estudo dos princípios e processos que determinam a distribuição geográfica de linhagens genealógicas (Martins; Domingues, 2011). Estudos filogeográficos sugeriram que a fragmentação da Mata Atlântica no passado e a redução do Cerrado meridional influenciaram a estrutura genética atual das espécies arbóreas que ocorrem nesta parte dos Neotrópicos. A filogeografia de *Hymenaea courbaril* var. *stilbocarpa* da Mata Atlântica e matas ciliares do bioma Cerrado no centro e sudeste do Brasil foi investigada por Ramos et al. (2009), e os dados, foram comparados com os de seu congênera *Hymenaea stigonocarpa*, uma árvore típica do Cerrado. Após o sequenciamento da região do cloroplasto ter sido realizada para as duas espécies, observou-se que a estrutura filogeográfica relativamente similar das espécies vicariantes de *Hymenaea* sugere que elas sofreram os mes-

mos impactos durante as flutuações climáticas do Quaternário. O compartilhamento de haplótipos e a similaridade genética entre as duas espécies de *Hymenaea* sugerem a existência de polimorfismo ancestral e/ou hibridação.

Em estudo correlato, Resende-Moreira et al. (2017) estudaram populações de *Hymenaea courbaril* e *Hymenaea stigonocarpa* que coocorrem no Cerrado brasileiro, um bioma que engloba fragmentos florestais e matas ciliares dentro de uma matriz de savana, verificando a divergência e a estrutura genética através de sete locos microssatélites nucleares. Adicionalmente, utilizou-se da análise de agrupamento Bayesiano para identificar grupos de indivíduos geneticamente similares e procurar evidências de misturas interespecíficas. A análise Bayesiana apoiou os cenários com a ocorrência de fluxo gênico entre espécies durante o Holoceno até o presente, quando comparados a cenários alternativos sem fluxo gênico ou fluxo gênico constante desde a divergência. No entanto, os supostos híbridos não exibiram morfologia folíolo intermediária, o que pode estar relacionado a pressões seletivas distintas mantendo a integridade da espécie mesmo em face do fluxo gênico. Os resultados obtidos sugerem que, apesar das diferenças morfológicas entre as espécies de savana e floresta, as barreiras interespecíficas ao fluxo gênico podem não estar totalmente desenvolvidas entre as espécies de árvores vicariantes e que a hibridização interespecífica em árvores do bioma Cerrado pode ser um processo subdiagnosticado.

Abordagens em genética de populações decompõem a variação genética das espécies em nível hierárquico, compreendendo a ação de processos microevolutivos em escalas espaciais. Braga et al. (2019) avaliaram a estrutura genética espacial de populações de *H. stigonocarpa* ao longo do bioma Cerrado, avaliando a diferenciação genética e a existência de zonas de hibridação nesta espécie, para três variedades botânicas fracamente diferenciadas por características morfológicas. Observaram que *H. stigonocarpa* var. *brevipetiolata* apresentou maior diferenciação genética em relação a *H. stigonocarpa* var. *stigonocarpa* e *H. stigonocarpa* var. *pubescens*. Abordagens Bayesianas suportaram um agrupamento genético diferente e processo de hibridação em populações simpátricas para *H. stigonocarpa* var. *brevipetiolata*. Concluíram que os agrupamentos genéticos não são congruentes com os caracteres vegetativos usados para reconhecer as três variedades

botânicas, e que deve ser visto com ceticismo, havendo necessidade de uma revisão taxonômica.

A diversidade genética de uma espécie é caracterizada pelo número e frequência de alelos na população, o que pode ser traduzido em diferentes formas, cores e tamanhos de caules, folhas, flores e frutos. A determinação da diversidade genética normalmente é usada para constituir população base para fins de melhoramento. Rocha et al. (2017) analisaram a diversidade genética entre 24 indivíduos (genótipos) de *H. courbaril* (jatobá) de ocorrência natural no norte do estado de Mato Grosso, Brasil, usando como marcadores genéticos, fragmentos de DNA entre sequências repetidas simples (ISSR)¹, com o objetivo de contribuir para o desenvolvimento de estratégias de coleta de sementes e produção de mudas. Os métodos de agrupamento: método de agrupamento hierárquico aglomerativo (UPGMA)² e Tocher indicaram a formação de quatro grupos distintos, revelando variabilidade genética entre os 24 genótipos de *H. courbaril*. Concluiu-se que todos os genótipos avaliados podem ser utilizados para coleta de sementes e produção de mudas, mas os indivíduos mais divergentes devem ser priorizados.

Outra forma de determinar a diversidade genética é através da variabilidade fenotípica em estudos biométricos de frutos e sementes da mesma espécie, que podem ser utilizados em programas de melhoramento. Além disso, contribuem para a seleção de sementes com maior padrão de qualidade biofísica a serem destinadas à produção de mudas. Campos et al. (2018) avaliaram os atributos biofísicos de frutos e sementes e a emergência de plântulas de duas procedências de jataí-açu (*Hymenaea courbaril* L.). Observou-se que a procedência de Ananindeua foi superior fisiologicamente em relação à procedência Portel, sendo (nesta ordem) a porcentagem de emergência igual a 73% e 21%, o tempo médio de emergência foi 14,86 e 23,03 dias, e o índice de velocidade de emergência foi 1,27 e 0,23 sementes emergidas/dia. A procedência de Ananindeua também apresentou maiores médias para comprimento, espessura e número de sementes por fruto.

¹ Inter-simple sequence repeat – sequência de nucleotídeos entre duas sequências simples repetidas.

² Unweighted pair-group method arithmetic mean - Média aritmética não ponderada do método de pares e grupos..

Biotecnologia

Segundo a Organização das Nações Unidas,

(...) biotecnologia significa qualquer aplicação tecnológica que utilize sistemas biológicos, organismos vivos, ou seus derivados, para fabricar ou modificar produtos ou processos para utilização específica (...)

(ONU. Convenção de Biodiversidade 1992, Art. 2).

A criação de marcadores moleculares para diversos fins, a duplicação cromossômica e a propagação vegetativa são exemplos de aplicações da biotecnologia.

A transferência de locos polimórficos entre espécies congêneres é uma ferramenta útil para estudos genéticos populacionais e para investigar o sistema de acasalamento, fluxo gênico e estrutura genética espacial. Ciampi et al. (2008) desenvolveram nove microssatélites em locos altamente polimórficos a partir de uma biblioteca genômica enriquecida para repetições AG/TC em *Hymenaea courbaril*. Destes, sete locos microssatélites foram efetivamente transferidos para *Hymenaea stigonocarpa*.

A duplicação cromossômica de espécies florestais busca maximizar características de interesse econômico, como características relacionadas ao desenvolvimento e ganho florestal. Ottonelli et al. (2016) realizaram um estudo para induzir e verificar a poliploidia em células de meristemas radiculares de *Hymenaea courbaril* var. *silbocarpa* por meio de características morfológicas e citológicas. Observaram que, entre os quatro tratamentos avaliados, a exposição dos meristemas radiculares por 96 horas no herbicida trifluralin 3 μM a 4 °C, resultou na duplicação do genoma de *Hymenaea courbaril* L. var. *stilbocarpa*, resultando em 48 cromossomos, e o tamanho médio dos estômatos foi de 0,215 mm, estatisticamente superior aos demais tratamentos.

O desmatamento – reforçado pela extração ilegal de madeira – é um problema sério em muitas regiões tropicais e causa danos ambientais e econômicos generalizados. As leis existentes que pretendem reduzir a exploração madeireira precisam de métodos de controle eficientes e resistentes a

fraudes (Chaves et al., 2018). Estes autores, genotiparam 308 amostras de *Hymenaea courbaril* de diferentes origens por meio de dez microssatélites nucleares (nSSRs)³, 13 SNPs⁴ de cloroplasto (cpSNP) e 1 marcador indel⁵ no cloroplasto. Os resultados do estudo mostraram que os marcadores genéticos do núcleo e do cloroplasto são eficazes para serem usados em um sistema de certificação genética e podem fornecer a autoridades internacionais uma ferramenta robusta para confirmar a legalidade da madeira.

A propagação vegetativa consiste em multiplicar assexuadamente partes de plantas (células, tecidos, órgãos ou propágulos), originando indivíduos geralmente idênticos à planta-mãe. É uma técnica que está sendo cada vez mais adotada em nível mundial, principalmente por sua maior efetividade em capturar os ganhos genéticos obtidos dos programas de melhoramento (Wendling, 2003).

Na cultura de tecidos, um dos pontos críticos do estabelecimento de uma cultura *in vitro* é a contaminação por fungos e bactérias, seja endofítica, seja superficial. Neste sentido, Gomes e Quisen (2017) avaliaram a eficiência de métodos de desinfestação e estabelecimento *in vitro* em explantes de jatobá (*Hymenaea courbaril*). Ensaios foram realizados utilizando segmentos nodais, epicótilo, hipocótilo e folhas, extraídas de plantas germinadas *in vitro* ou de mudas em casa de vegetação. Observaram que a eficiência da assepsia pode ser influenciada pelo tipo de explante utilizado. O tratamento de explantes com imersão em meio Murashige Skoog (MS) acrescido de PPM TM⁶ controlou a contaminação de explantes de plantas de casa de vegetação.

A propagação vegetativa por enxertia tem sido amplamente utilizada para induzir floração e frutificação precoces em plantas perenes. Também pode ser usada para estabelecer pomares de sementes clonais, conservar espécies ameaçadas de extinção e melhorar geneticamente as árvores nativas. Mendes et al. (2021) realizaram a enxertia de sete espécies arbóreas nativas do Brasil, entre elas, *Hymenaea courbaril*. Os porta-enxertos foram preparados cortando-se a ponta do caule acima do primeiro nó, fazendo-se um corte

³ Polymorphic nuclear simple sequence repeat - repetição de sequência simples nuclear polimórfica.

⁴ Single nucleotide polymorphism – polimorfismo de nucleotídeo único.

⁵ Insertion/deletion – inserção ou deleção de um ou mais nucleotídeos em uma sequência de DNA.

⁶ Plant preservative mixture TM – biocida de amplo espectro para cultura de tecidos vegetais.

na forma de V de cerca de 3 cm, preservando os ramos laterais para a atividade fotossintética. Enxertos foram excisados em forma de cunha e inseridos no porta-enxerto. A junção foi selada com fita veda-rosca e envolvida com parafina plástica, para evitar a perda de água e manter os tecidos do câmbio em contato. Observaram que a sobrevivência dos enxertos aos 90 dias foi de 7,5%.

A miniestaquia (originada normalmente da brotação de gemas axilares) é uma técnica de propagação vegetativa cujo princípio é o aproveitamento do potencial juvenil dos propágulos para indução do enraizamento, sendo muito utilizada para propagação de mudas de eucalipto no Brasil. Freire et al. (2020) avaliaram a propagação de *Hymenaea courbaril* por miniestaquia usando três diferentes tipos de miniestacas (basais, intermediárias e apicais), na presença e ausência de AIB (ácido indol butírico) na concentração de 4 mil miligramas por quilograma. Observaram aos 90 dias, que o jatobá apresentou sobrevivência média de 54%, com menos de 5% de enraizamento total, sem influência significativa do tipo de miniestaca ou do uso do AIB.

A estaca (tamanho maior do que a miniestaquia), normalmente é extraída do caule da muda, sendo uma das formas de propagação vegetativa, muito utilizada em eucalipto antes do advento da miniestaquia e, em geral, utiliza de ácido indol butírico para estímulo do desenvolvimento de raízes adventícias. Pereira et al. (2017) realizaram experimento com estacas de aproximadamente 13 cm de comprimento, originadas de mudas de sementes, que foram submetidas a diferentes dosagens de AIB (0 mg L⁻¹, 200 mg L⁻¹, 400 mg L⁻¹, 600 mg L⁻¹, 800 mg L⁻¹ e 1.000 mg L⁻¹), posteriormente estabelecidas em substrato de areia e colocadas em ambiente protegido com sistema de nebulização intermitente e sombreamento de 50%. Observaram não haver efeito do AIB no enraizamento das estacas e a sobrevivência foi em média de 43%, havendo variação na sobrevivência dentro de cada tratamento de AIB.

Sementes e produção de mudas

Neste item, serão abordados a germinação e o armazenamento de sementes, hormônios e compostos químicos na germinação de sementes e produção de mudas.

Germinação e armazenamento de sementes

A morfologia do fruto, semente e plântula, bem como a germinação de *Hymenaea courbaril* L., submetida a diferentes substratos e temperaturas foram avaliados por Duarte et al. (2016). Observaram que os frutos são secos e lenhosos e as sementes são exalbuminosas, com embrião axial. Como tratamento pré-germinativo, todas as sementes foram esterilizadas com uma solução de hipoclorito de sódio (2,5% de cloro ativo) por cinco minutos. Para superar a dormência, as sementes foram lixadas lateralmente com auxílio de um esmeril e colocadas em água destilada para embeber por um período de 24 horas. A germinação é epigea (cotilédones emergem do solo) e a plântula é fanerocotiledonar (cotilédone visível) (Figura 4). A combinação dos substratos vermiculita ou areia, aliados às temperaturas de 25 °C ou 30 °C, são eficientes para a condução dos testes de germinação.

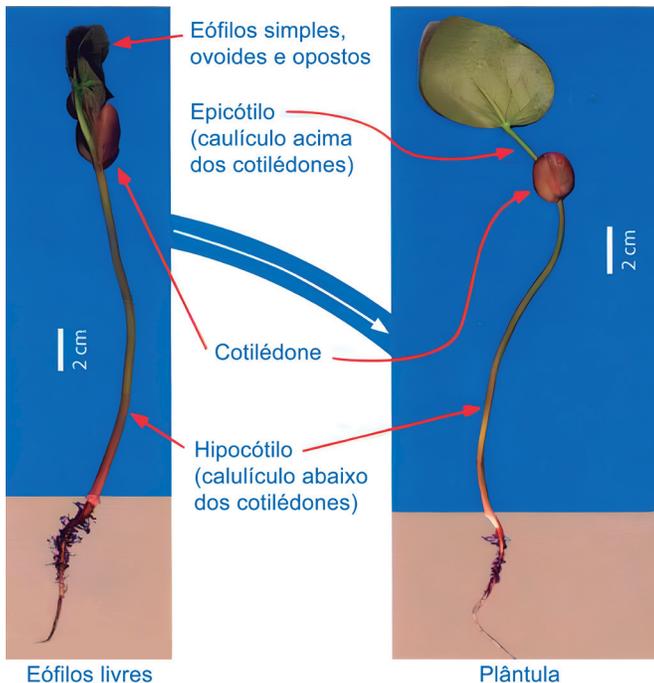


Figura 4. Plântula em estágio inicial de crescimento, mostrando os eófilos (primeiras folhas da plântula), o epicótilo, cotilédone e hipocótilo.

Fonte: Hopkins (2004) – Embrapa.

Quando se realiza a escarificação da semente do jatobá para facilitar a emergência, surge a dúvida de onde fazer este procedimento. Pensando nisso, Andrade et al. (2010) realizaram um experimento com sementes de *Hymenaea courbaril* escarificando-os nas seguintes posições: (a) escarificação do lado oposto ao hilo; (b) escarificação em uma lateral; (c) escarificação em duas laterais; (d) escarificação em uma lateral e no lado oposto ao hilo; (e) escarificação em duas laterais e no lado oposto ao hilo; (f) testemunha, sem escarificação. Observou-se que a escarificação, independentemente da posição na semente, com ou sem embebição em água, proporcionou as mesmas porcentagens de emergência das plântulas e qualidade fisiológica, bem superiores à testemunha sem escarificação. A escarificação em duas laterais e no lado oposto ao hilo sem pré-imersão apresentou maior índice de velocidade de emergência do que com pré-imersão (24 horas imersos em água destilada).

Para uma máxima capacidade de emergência e vigor de plântulas na germinação, a umidade interna da semente e o promotor (tempo de embebição) são fatores primordiais. Smiderle e Souza (2021) testaram cinco tempos de embebição de sementes grandes e pequenas escarificadas e não escarificadas de *Hymenaea courbaril*: 0, 4, 6, 8 e 12 horas. Observou-se que o máximo vigor de plântulas de *Hymenaea courbaril* é obtido com sementes grandes, escarificadas e imersas em água por 6 horas, e, quando o teor de água das sementes grandes escarificadas foi de 18,7%, houve produção de 100% de plântulas vigorosas. Verificou-se também que sementes pequenas e grandes de *Hymenaea courbaril*, escarificadas e não escarificadas, imersas por 6 horas, exibem menor tempo médio para emergência de plântulas. O teor de água de 20,6% nas sementes pequenas de *Hymenaea courbaril* escarificadas promoveu 100% de emergência de plântulas.

A forma como se realiza o armazenamento de sementes pode ser fundamental na manutenção de níveis aceitáveis de sua germinação. Gomes et al. (2013) avaliaram o efeito de embalagens e ambientes no comportamento de sementes de jatobá, durante 30 meses de armazenamento. Os tratamentos usados foram: (1) embalagem – permeável (saco de papel) e impermeável (vidro); (2) ambiente – laboratório e câmara fria; (3) época de armazenamento – 0, 3, 6, 9, 12, 15, 21, 24, 27 e 30 meses. Observou-se que no laboratório, nas embalagens vidro e saco de papel, ocorreu uma perda significativa no

poder germinativo e no vigor das sementes, a partir dos 6 meses de armazenamento; enquanto na câmara fria, nas mesmas embalagens, aos 30 meses de armazenamento, as sementes apresentaram percentagem de germinação de 47,50% e 62,50%, respectivamente, com índice de velocidade de germinação (IVG) de 1,85.

A obtenção de sementes com alto vigor é o ideal para os produtores de mudas, e a coleta das sementes em estágios diferentes de maturação, pode produzir taxas de germinação distintas. Guariz et al. (2021) verificaram o potencial germinativo de sementes de *Hymenaea courbaril* em diferentes estágios de maturação, visando favorecer a produção de mudas dessa espécie em viveiros. As sementes foram extraídas de frutos verdes e maduros destacados da planta mãe e frutos maduros coletados no chão. A semeadura foi realizada com sementes escarificadas mecanicamente e intactas de cada grupo de maturação. Os resultados indicaram que as sementes verdes não escarificadas podem ser utilizadas para semeadura e produção de mudas, apresentando um percentual de germinação favorável (79%). Já as sementes de frutos colhidos no chão necessitaram de um método para superar a dormência tegumentar, como a escarificação mecânica, obtendo-se uma germinação de 85%. As sementes de frutos maduros, com escarificação, colhidos na matriz apresentaram maior vigor, com maior percentual de germinação (96% a 100%), maior índice de velocidade de emergência, menor tempo médio de germinação, plântulas com maior área foliar e maior comprimento de parte aérea.

Hormônios e compostos químicos na germinação de sementes

Com relação à superação de dormência em sementes de *Hymenaea*, a técnica mais comumente empregada é a escarificação mecânica com lixa ou esmeril, sendo escassas as informações na literatura relacionadas ao uso de escarificações químicas, exceto com ácido sulfúrico, na superação de dormência em sementes do gênero. Os reguladores vegetais também são capazes de promover a germinação estimulando o crescimento e induzindo a produção de hidrolases para enfraquecer as estruturas ao redor do embrião, além de modificar o crescimento e desenvolvimento de plântulas, por atuarem na divisão e alongamento celulares (Novembre et al., 2007).

Pedroso de Moraes et al. (2018) submeteram as sementes a 15, 30, 60, 90, 120, 150 e 180 minutos de escarificação em HCl, H₂SO₄, KOH e NaOH, além de utilizarem lixa. Sementes escarificadas com H₂SO₄ foram expostas a concentrações de 5 mg L⁻¹, 10 mg L⁻¹ e 20 mg L⁻¹ de GA₃ por 15, 30, 60, 90, 120, 150 e 180 minutos. Observou-se, em relação à superação de dormência, que o uso de ácido sulfúrico por 30 minutos apresentou o melhor resultado para a germinabilidade, enquanto a escarificação com lixa se mostrou mais eficaz para o índice de velocidade de emergência. Aumentos nas concentrações de GA₃ resultaram em incrementos significativos nas porcentagens de germinação e no índice de velocidade de emergência da espécie, conforme interações com os períodos de exposição.

Embora os mecanismos por trás desses efeitos não sejam completamente compreendidos, o óxido nítrico (NO) é conhecido por regular muitos processos fisiológicos em plantas, como processos reprodutivos, controle do desenvolvimento e a regulação de respostas fisiológicas, como o fechamento estomático e a germinação de sementes (Wilson et al., 2008). Zerlin et al. (2016) avaliaram o efeito de compostos doadores de NO na germinação e no metabolismo primário de sementes de *Hymenaea courbaril* L. Mostrou-se que os doadores de NO reduziram o tempo médio de germinação e melhoraram o desenvolvimento normal das plântulas de sementes de vigor baixo, sem afetar a taxa de germinação final. Os resultados da pesquisa sugerem que a exposição ao doador de NO reverte parcialmente a deterioração em sementes naturalmente envelhecidas, possivelmente por meio da modulação do conteúdo de pinitol.

Produção de mudas

A crescente demanda por projetos de restauração florestal, devido aos desmatamentos e à exploração ilegal de madeira, tem exigido pesquisas sobre a produção e a qualidade de mudas florestais. Ferraz e Engel (2011) avaliaram a influência de diferentes tamanhos de tubetes na qualidade de mudas de essências nativas de diferentes grupos ecológicos sucessionais, incluindo *Hymenaea courbaril*. Os tratamentos consistiram em três tamanhos de tubetes para a semeadura: 50 cm³, 110 cm³ e 300 cm³. Observaram que o tubete de 300 cm³ proporcionou mudas com diâmetro do colo superior aos daquelas produzidas nos demais tubetes, alcançando, aos 170 dias após a emergên-

cia, 6,7 mm e, em relação à altura, não diferiu das mudas produzidas em tubetes de 100 cm³, atingindo 34,5 cm.

A forma, a frequência e a quantidade de água usadas na irrigação podem afetar o crescimento das mudas. Um dos problemas da aplicação de quantidade de água que ultrapasse a capacidade de retenção do substrato é a lixiviação dos adubos aplicados, diminuindo o crescimento das plantas. Silva et al. (2016) avaliaram o efeito de lâminas de irrigação e tamanhos de recipiente no desenvolvimento de mudas de jatobazeiro (*Hymenaea courbaril* L.). Utilizou-se dois tamanhos de recipientes (vaso rígido de 3,1 L e citrovaso reto de 4,0 L) e cinco lâminas de irrigação (20%, 40%, 60%, 80% e 100% da evapotranspiração potencial – ETp) por gotejamento, aplicadas diariamente. Observaram que o citrovaso proporcionou maior ETp, em relação ao vaso e, conseqüentemente, mudas mais desenvolvidas. Lâminas com 90% a 100% da ETp propiciaram mudas de jatobazeiro mais vigorosas. O aumento do déficit hídrico reduziu todos os parâmetros morfológicos avaliados das mudas de jatobazeiro, exceto a razão MSR/MSPA (massa seca da raiz/massa seca da parte aérea).

Com temática similar ao trabalho anterior, Nascimento et al. (2011) analisaram o crescimento de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) sob déficit hídrico. As plantas foram cultivadas em vasos contendo 8 kg de solo oriundo do local de coleta das sementes, com quatro tratamentos hídricos (100%, 75%, 50% e 25% da capacidade de pote – CP). Verificou-se que o déficit hídrico afetou o crescimento das plantas quanto à altura, ao diâmetro do caule e à produção de matéria seca para os diversos órgãos, quando cultivadas em níveis a partir de 50% da CP. O número de folhas reduziu-se em todos os níveis de estresse, quando comparado com o tratamento 100% da CP. A matéria seca total, do caule e da raiz decresceram gradativamente do nível mais alto para o nível mais baixo de água no solo.

Com a demanda de água para a população, os animais e as culturas agrícolas crescente, maneiras de otimizar o consumo de água são sempre relevantes. Para as plantas, o uso de hidrogel (polímero hidroabsorvente agrícola) pode melhorar o crescimento das plantas bem como diminuir a quantidade de água aplicada. Outra prática feita em viveiros é a poda radicular, que pode estimular e/ou atrasar seu crescimento, assim como eliminar raízes que estão penetrando no solo, no caso de sacos plásticos, ou raízes que saíam dos

limites do tubete (raízes aéreas). Faller et al. (2020) avaliaram o efeito de diferentes níveis de poda e doses de hidrogel no crescimento inicial de jatobá (*Hymenaea courbaril*) sob sombreamento. Utilizaram três níveis de poda radicular (0,0; 25,0 e 50,0%) e cinco doses de hidrogel (0,0 g L⁻¹; 2,0 g L⁻¹; 4,0 g L⁻¹; 6,0 g L⁻¹ e 8,0 g L⁻¹ de substrato). Observou-se que a combinação do nível de poda radicular a 25,0% e doses de hidrogel na faixa de 3,0 g L⁻¹ a 4,0 g L⁻¹ exerceram efeitos positivos no crescimento das variáveis morfológicas.

A utilização de ambientes protegidos na formação de mudas frutíferas é pré-requisito fundamental, pois permite maior controle fitossanitário, proteção contra intempéries climáticas, produção em qualquer época do ano e uniformidade do plantel (Santos et al., 2011). Esses autores analisaram o crescimento de *Hymenaea stigonocarpa* em vários substratos (combinações de solo com composto orgânico) em vasos de 5 L em estufa agrícola coberta com filme de polietileno e tela termo-refletores, viveiro com tela preta (sombrite), ambas para sombreamento de 50%. Observou-se que as mudas na estufa agrícola e 100% de solo (Argissolo Vermelho-Amarelo) produziram mudas com maior altura e índice de velocidade de emergência do que as demais combinações entre solo e composto orgânico aos 122 dias após a semeadura.

As mudas cultivadas em ambientes protegidos dependem, entre outros fatores, da quantidade e qualidade da luz que chegam em sua superfície absorvente para realizar a fotossíntese. A composição do substrato também influencia no crescimento das mudas e, em geral, deve haver equilíbrio entre capacidade de retenção de água e porosidade para arejamento das raízes. Sanches et al. (2017) avaliaram ambientes e substratos protegidos na formação de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril*), na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Cassilândia, MS, no período de janeiro a março de 2014. Foram utilizadas duas estufas: (A1) estufa agrícola coberta com tela refletora térmica aluminizada de 50% de sombreamento e (A2) estufa agrícola coberta com tela preta de 50% de sombreamento. No interior das estufas, foram testados substratos derivados de misturas de esterco bovino, terra, vermiculita média, vermiculita superfina e areia fina lavada. Observaram que as melhores mudas foram formadas nos substratos contendo 10% ou 20% de esterco bovino na mistura e, substratos contendo 50% de esterco bovino na mistura, não favoreceram o desenvolvimento de mudas em casa de vegetação com tela preta. As melhores mudas foram formadas em ambiente protegido de

cobertura de tela aluminizada, com maior fitomassa total, e índice de qualidade de Dickson.

Utilizando os mesmos ambientes protegidos do trabalho anterior, só que agora utilizando como substrato misturas de somente esterco de gado e vermiculita, Costa et al. (2019) observaram que o ambiente protegido com tela de sombreamento preta foi mais favorável para a formação de mudas de jatobá, resultando em mudas com maior altura da parte aérea e diâmetro do colo da raiz e, portanto, de maior qualidade. A recomendação é utilizar substratos contendo até 30% de esterco bovino para produção de mudas de jatobá de alta qualidade.

Trabalho correlato foi realizado por Gonzaga et al. (2022), os quais avaliaram tipos de cobertura de ambientes protegidos e material refletor na produção de mudas de *Hymenaea courbaril*. Os experimentos foram desenvolvidos em quatro ambientes protegidos: (A1) estufa agrícola coberta com filme de polietileno de baixa densidade (PEBD) com tela de 42%–50% de sombreamento sob o filme; (A2) telado agrícola com tela aluminizada de 35% de sombreamento; (A3) telado agrícola com tela preta de 30% de sombreamento e (A4) telado agrícola com tela preta de 18% de sombreamento. Em cada ambiente protegido, foram testados sistemas de produção com e sem material refletor sobre a bancada de cultivo. O material refletor de radiação fotossinteticamente ativa utilizado foi a tela aluminizada (Aluminet). Entre as variáveis analisadas, observou-se que o telado agrícola com tela preta (18% de sombreamento) apresentou mudas de melhor qualidade, e o sistema com material refletor apresentou maiores valores para número de folhas e diâmetro do colo.

A restauração florestal no Brasil tem ganhado relevância na agenda ambiental do país, devido à necessidade de recuperação florestal de grandes passivos de florestas existentes à participação em diversos acordos internacionais de restauração da vegetação. No entanto, o manejo da restauração florestal enfrenta desafios, sendo necessário criar um banco de dados de desempenho em nível de espécie para aumentar o sucesso desses projetos, sendo a produção de mudas com teste no campo torna esses dados mais confiáveis (Morais Júnior et al., 2020). Esses autores avaliaram a sobrevivência e o desempenho no campo de mudas de cinco espécies, dentre elas *Hymenaea courbaril*, que foram formadas em dois tipos de recipientes: saco plástico de 1.177 cm³ e tubete de 180 cm³, preenchidos com subsolo argiloso, composto

orgânico e areia, na proporção volumétrica de 6:3:1. Observaram, após 42 meses no campo, que a sobrevivência das mudas produzidas nos tubetes e no saco plástico foi similar (próxima a 70%), no entanto, as mudas formadas em saco plástico apresentaram maiores alturas e diâmetro à altura do solo do que as produzidas em tubetes.

O tipo e o volume do recipiente são itens importantes na produção de mudas, que, junto com o substrato, definem seu crescimento e suas possibilidades de sobrevivência no campo. Souza e Lima (2012) realizaram experimento de produção de mudas de *Hymenaea courbaril* utilizando os seguintes recipientes: sacos de polietileno (12 cm x 20 cm e 16 cm x 25 cm) e tubetes de polipropileno (20 cm x 6 cm, 13 cm x 6 cm e 14 cm x 6 cm). Observaram que a emergência das sementes iniciou aos 15 dias após a semeadura e se prolongou até aos 60 dias. Verificou-se que seu desenvolvimento foi melhor em sacos de polietileno 12 cm x 20 cm e 16 cm x 25 cm.

Em manual de produção de mudas de espécies arbóreas nativas do Cerrado, Oliveira et al. (2016) descreveram os procedimentos para *Hymenaea courbaril* e *H. stigonocarpa*. A primeira (*H. courbaril*) é encontrada na Mata Ciliar e na Mata de Galeria. Os frutos de jatobá-da-mata devem ser coletados entre os meses de julho e outubro, época de frutificação desta espécie. Por possuírem dormência tegumentar, as sementes deverão passar por escarificação mecânica. Após esse tratamento, as sementes deverão ser mergulhadas em água por um período de 10 a 12 horas. As sementes são colocadas diretamente em recipientes (sacos plásticos ou tubetes) contendo substrato e devem ser levemente enterradas a uma profundidade de 0,5 cm a 1 cm. O substrato pode ser mistura de 200 L de terra, 100 L de composto orgânico – pode ser casca de arroz carbonizada, fibra de coco, esterco curtido de gado, húmus de minhoca e turfa – e 50 L de areia, adubados com 500 g de N-P-K 4-14-8 e 200 g de calcário (para 350 L de substrato). As sementes começam a germinar a partir de 12 dias, e a porcentagem de germinação pode alcançar 98%. As mudas deverão ser mantidas no viveiro a pleno sol. As mudas estarão prontas para plantio no campo entre 5 e 7 meses.

Hymenaea stigonocarpa é uma árvore encontrada no Cerrado sentido amplo. Para a formação das mudas os procedimentos são similares a *H. courbaril*. As sementes começam a germinar a partir de 12 dias, e a porcentagem de germinação pode alcançar 70%. As mudas deverão ser mantidas no viveiro

a pleno sol. O substrato pode ser mistura de 300 L de solo, 100 L de condicionador e 50 L de areia, e a adubação de 500 g de NPK 4-14-8 e 100 g de calcário (para 450 L de substrato). As mudas estarão prontas para plantio no campo entre 10 e 12 meses após a semeadura.

Fisiologia vegetal

A Fisiologia Vegetal é uma área da Botânica que se dedica ao estudo dos fenômenos relacionados ao metabolismo, ao desenvolvimento, aos movimentos e à reprodução dos vegetais (Peixoto et al., 2018). No primeiro bloco, são abordados tópicos como a fotossíntese, a deficiência hídrica, a concentração de CO₂ na atmosfera, a nutrição e a aclimatação. Em seguida, são discutidos os efeitos de metais pesados e de bioestimulantes na fisiologia das plantas.

Os ecossistemas tropicais terrestres compartilham de diversos fatores físicos e biológicos que impõem restrições ao estabelecimento, à sobrevivência e ao desenvolvimento das plantas. Entre esses fatores, destacam-se a luz, as condições hídricas e as estratégias próprias de cada espécie. Santos et al. (2005) conduziram uma revisão com uma abordagem ecofisiológica sobre o metabolismo de carbono no estabelecimento de *Hymenaea courbaril* e *Caesalpinia echinata* (pau-brasil) em ambientes florestais. No caso de *H. courbaril*, as primeiras folhas das plântulas apresentam um potencial fotossintético que as mantém sob restritas condições de radiação. A fotossíntese máxima, em média, está em torno de 6 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹, com um ponto de compensação de 11,8 μmol de fótons m⁻² s⁻¹ da radiação fotossinteticamente ativa (RFA), valores equivalentes aos níveis de radiação encontrados sob o dossel das matas. Essas folhas também exibem uma baixa saturação luminosa (200 μmol de fótons m⁻² s⁻¹ da RFA), característica típica de espécies adaptadas à sombra. Os cotilédones dessa espécie representam uma importante fonte de reserva nutricional, ricos em uma hemicelulose, identificada como xiloglucano. Essa substância torna-se relevante apenas no desenvolvimento dos eófilos (primeiras folhas), direcionando os produtos de sua degradação para a parte aérea até o término da expansão do primeiro metáfilo (folhas semelhantes às da planta adulta).

A técnica de resgate de mudas provenientes da regeneração natural pode ser útil para aumentar a diversidade de espécies em viveiro, especialmente

quando há baixa germinação de sementes, reduzindo os custos de coleta, processamento e armazenamento de sementes, além de permitir o resgate de espécies raras que seriam suprimidas em condições naturais. Silva et al. (2021) avaliaram o efeito de diferentes níveis de sombreamento e reduções na lâmina foliar na sobrevivência e crescimento de mudas das espécies *Copaifera langsdorffii* Guillem. ex Benth., *Copaifera langsdorffii* Desf. e *Hymenaea courbaril* L. provenientes do resgate da regeneração natural. Observou-se que, para *H. courbaril*, a aclimação foi mais eficaz com 50% de sombreamento e sem redução foliar.

A plasticidade fenotípica é geralmente definida como a capacidade dos genótipos individuais de produzirem diferentes fenótipos quando expostos a diferentes condições ambientais. A aclimação é considerada um processo pelo qual essa plasticidade é expressa (Pigliucci, 2001). Portes et al. (2010) investigaram as mudanças fisiológicas em *Guazuma ulmifolia* (espécie pioneira) e *Hymenaea courbaril* (espécie secundária) submetidas a condições contrastantes de luminosidade. Observou-se que *G. ulmifolia* apresentou, em geral, um potencial fotossintético superior sob condições de alta e baixa luminosidade. Contudo, *H. courbaril* mostrou uma eficiência maior no uso da água em condições de baixa luminosidade e uma limitação relativa na abertura estomática em condições de alta luminosidade, o que está em acordo com as características fisiológicas típicas do seu grupo ecológico.

A deficiência hídrica é um dos maiores limitadores do crescimento e desenvolvimento das plantas. Em condições de deficiência hídrica, as plantas demandam mais energia para produzir compostos que ajudam a mitigar os efeitos da falta de água em sua fisiologia, como teor de sacarose, amido, prolina e glicina betaína (Souza et al., 2018). Esses autores avaliaram o efeito de diferentes deficiência hídrica e reidratação nas concentrações de osmorreguladores em duas espécies vegetais (*Hymenaea courbaril* e *H. stigonocarpa*). Observou-se que após um período de estresse hídrico de 26 dias e posterior reidratação por 2 dias, as concentrações de amido diminuíram em 50% e 38%, e o teor de sacarose aumentou em 58% e 74% em *H. courbaril* e *H. stigonocarpa*, respectivamente, em comparação com o controle sem estresse hídrico.

As plantas possuem mecanismos bioquímicos e fisiológicos para resistir às condições de seca. Geralmente, dependendo do intervalo da deficiência hídrica, a planta pode adotar uma estratégia interna para manter o crescimento ou um balanço hídrico positivo, ou, ocasionalmente, ambos. Luz et al. (2023) investigaram o mecanismo fisiológico associado à reidratação do crescimento após exposição de curto prazo ao estresse hídrico em *Hymenaea courbaril* e *Hymenaea stigonocarpa*. Observou-se que *H. courbaril* tende a investir em nitrogênio, em detrimento dos compostos de carbono, devido à sua limitação na fotossíntese líquida. Isso resulta no ajuste do crescimento das raízes para atenuar o estresse hídrico. Em contraste, *Hymenaea stigonocarpa* aproveita seu maior potencial hídrico e menor taxa basal de fotossíntese para sustentar o crescimento acima do solo nessas condições.

A necessidade nutricional das plantas varia de acordo com a espécie, idade e condições ambientais, sendo um dos principais fatores para o sucesso do plantio florestal. Silva et al. (2020) avaliaram o comportamento morfofisiológico de mudas de *H. stigonocarpa* submetidas a doses de fósforo. Observou-se que a adubação fosfatada promoveu variações positivas no comportamento fisiológico e morfológico das mudas de *H. stigonocarpa*, resultando em mudas mais robustas e vigorosas. Portanto, a dose recomendada para a produção de *H. stigonocarpa* em Latossolo Vermelho Distrófico é de 200 mg dm⁻³ de fósforo.

O potássio é um elemento essencial para o desenvolvimento das plantas, e sua quantidade adequada varia de acordo com o substrato e a quantidade de água disponível. Costa et al. (2021) avaliaram se doses de potássio causam alterações morfofisiológicas em mudas de *Hymenaea stigonocarpa*. Observou-se que a fertilização potássica levou a alterações morfológicas e fisiológicas, além de afetar o conteúdo de potássio nas mudas de *Hymenaea stigonocarpa*. Em geral, o potássio influenciou a abertura estomática, a transpiração e as trocas gasosas por meio de um efeito de ajuste osmótico, resultando em aumentos significativos na altura do caule e no diâmetro, que por sua vez levam a um efeito de concentração em relação aos teores de K. Portanto, as doses recomendadas de K pelos autores variam de 150 mg dm⁻³ a 200 mg dm⁻³ durante a fase de cultivo.

Estudos de supressão de nutrientes demonstram a ordem de importância que a planta dispensa para cada elemento, especialmente a nível de crescimento. Nascimento et al. (2014) investigaram os efeitos da supressão de N, P e K sobre o desenvolvimento de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.). O experimento foi conduzido em casa de vegetação com quatro tratamentos: solução nutritiva completa (SNC); supressão de fósforo (-P); de nitrogênio (-N) e de potássio (-K) num período de 100 dias. Os resultados permitem inferir que a biomassa seca da folha, a fotossíntese, a eficiência de carboxilação e o teor de prolina na raiz são bons indicadores do comportamento fisiológico de mudas de jatobá cultivadas sob supressão de N, P e K. Observou-se ainda que o N foi o macronutriente mais limitante ao crescimento de plantas de jatobá. Por fim, sugere-se que o requerimento nutricional quanto aos macronutrientes da referida espécie obedeça à ordem decrescente de: $N > P > K$.

A calagem é benéfica para as plantas por promover a elevação do pH, neutralização do alumínio tóxico, aumentar o fornecimento de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) e propiciar maior sistema radicular. No entanto, sabe-se que as espécies, principalmente nativas do Cerrado, respondem de formas distintas a essa técnica (Silva et al., 2019). Estes autores determinaram de que forma mudas de *Hymenaea stigonocarpa* (jatobá-do-cerrado) respondem à calagem em Latossolo Vermelho Distrófico submetidas a diferentes saturações de base. Observou-se que, à medida que aumentou a saturação de bases pela calagem, a matéria seca do caule e raiz, a fotossíntese líquida, a condutância estomática e a concentração de CO_2 interna diminuíram. Diante dos resultados obtidos para a produção de mudas de *H. stigonocarpa* em Latossolo Vermelho Distrófico nas condições do estudo, os autores concluíram não haver necessidade de calagem.

A análise da concentração de elementos nutrientes nas folhas permite encontrar a proporção e a quantidade de cada elemento que a planta precisa para crescer adequadamente. Além disso, define níveis de deficiência ou consumo de luxo quando uma espécie exclui ou acumula alguns nutrientes que podem ser tóxicos em grandes quantidades. Alvarado et al. (2018) investigaram a concentração foliar de nutrientes de *Hymenaea courbaril* em ecossistema sazonalmente seco (33 árvores) para estabelecer faixas de nutrientes normais em relação às suas taxas de crescimento (Tabela 2).

Tabela 2. Faixa satisfatória de concentração foliar de elementos (valores nos percentis 25 e 75) em *Hymenaea courbaril* em ecossistema sazonalmente seco.

Macronutriente	Faixa satisfatória (%)	Micronutriente	Faixa satisfatória (mg kg ⁻¹)
N	1,56–1,92	Na	31–121
Ca	0,46–0,77	Fe	84–413
K	0,24–0,66	Mn	191–340
Mg	0,15–1,05	Zn	22–27
S	0,10–0,15	B	10–22
P	0,08–0,14	Cu	7–13

A hidroponia é uma excelente alternativa para a produção de mudas, dada a crescente demanda por árvores frutíferas para reflorestamento ou recuperação de áreas naturais degradadas. No entanto, na maioria dos casos, pouco se sabe sobre o período ideal para a manutenção da muda no sistema hidropônico. Diante disso, Sousa et al. (2020) investigaram a hipótese de que alterações morfoanatômicas e fisiológicas podem ser usadas para prever o momento ideal para o transplante das mudas para o substrato do solo, garantindo assim o melhor custo-benefício na aplicação do sistema hidropônico. Observou-se em *Hymenaea courbaril* uma relação interessante entre o aumento da densidade de estômatos e a condutância estomática até os 120 dias após o transplante (DAT), o que refletiu em maiores taxas de fotossíntese, mas também uma redução na eficiência no uso de água. Também se observou um progressivo aumento da eficiência fotossintética até 120 DAT, com base em parâmetros como a absorção de fluxo de energia por centro de reação ativa e o índice de desempenho fotossintético. No entanto, após esse período, esses índices diminuíram progressivamente.

As árvores geralmente mantêm uma pequena margem de segurança entre o potencial hídrico do caule (Ψ_{caule}) alcançado durante as secas sazonais e o Ψ_{caule} associado à sua mortalidade. Esse padrão pode indicar que as espécies enfrentam risco de mortalidade semelhante durante secas extremas. No entanto, se as espécies de árvores variam em sua capacidade de regular Ψ_{caule} , então as margens de segurança preveem mal a mortalidade por seca (Wolfe, 2017). Este autor explorou a variação entre mudas de seis espécies

tropicais na regulação do potencial hídrico do caule, submetidas à seca extrema, incluindo *Hymenaea courbaril*, e comparou suas respostas com plantas bem irrigadas. Observou-se nas condições de seca extrema (potencial de água do solo de -10 MPa) que mudas de *H. courbaril* apresentaram uma sobrevivência de 25% nessas condições. Em condições de seca, a média de Ψ_{caule} e Ψ_{raiz} das plantas sobreviventes de *H. courbaril* (plantas suscetíveis à dessecação) foi de $-6,63$ MPa e $-5,52$ MPa, respectivamente, enquanto para *Cedrela* (planta tolerante à dessecação) o Ψ_{caule} foi de $-0,98$ MPa e o Ψ_{raiz} foi de $-1,06$ MPa. Constatou-se também que a área superficial das raízes e o tempo de abscisão das folhas de *H. courbaril* foram superiores em relação as plantas tolerantes à dessecação em condições de seca.

As mudanças climáticas globais têm levantado vários questionamentos no meio científico sobre a capacidade de aclimação de espécies vegetais diante da escassez pronunciada de água nos próximos anos. Espécies nativas do Cerrado têm experimentado, ao longo de seu desenvolvimento, variações extremas na oferta hídrica do solo, devido à sazonalidade da precipitação e características edáficas do solo. Essas variações exigem, das espécies ali estabelecidas, um comportamento estratégico que lhes permita ao mesmo tempo, segurança hidráulica e maximização do ganho de carbono (Prado, 2019). Este autor analisou a resistência à cavitação expressa pelo P50 (potencial hídrico referente à perda de 50% da condutividade hidráulica), a margem de segurança hidráulica (MSH) e a estratégia de regulação das variações do potencial hídrico (iso/anisohídrica) da espécie *Hymenaea stigonocarpa*. Observou-se que o comportamento das variáveis do intercâmbio gasoso (taxa de assimilação líquida de C, condutância estomática e transpiração) em resposta às variações das variáveis ambientais (radiação fotossinteticamente ativa, temperatura do ar, déficit de pressão de vapor e potencial matricial do solo e potencial hídrico foliar) apontam para diferentes estratégias sazonais na regulação das variações do potencial hídrico. Essas diferenças são evidenciadas principalmente pela relativa constância nos valores associados às variáveis do intercâmbio gasoso diante das variações significativas de potencial hídrico foliar e da oferta hídrica do solo.

Os ciclos hidrológicos e de carbono globais dependem em grande parte do balanço de carbono e água de cada árvore. Esses ajustes geralmente são avaliados por meio de algumas características bem estabelecidas e outras

novas, mas integrá-los para uma compreensão sistêmica das respostas das árvores às mudanças climáticas pode ser um desafio. Macieira et al. (2021) propuseram o uso de redes de correlação complexas para integrar e entender como as árvores coordenam características relacionadas à água e ao carbono sob condições de mudanças climáticas. Construiu-se uma rede de correlação com base em 20 características medidas na madeira de *Hymenaea courbaril* (Leguminosae), uma espécie conhecida por sua estratégia extrema de uso de água anisohídrica, amostrada ao longo de um gradiente climático no sudeste do Brasil. A razão entre as concentrações de CO₂ intercelular e ambiente (c_i/c_a) é uma característica central da rede, pois está coordenada com várias características hidráulicas e de alocação de carbono. As árvores de *H. courbaril* coordenam essas características ao longo do gradiente climático, favorecendo altas c_i/c_a sob condições quentes e secas. Uma alta c_i/c_a só é possível por meio de um abastecimento consistente de água fornecido por vasos mais largos, juntamente com o investimento em açúcares solúveis, em detrimento do amido, provavelmente para manutenção hidráulica. As árvores também favorecem a resistência ao calor investindo em xilose da parede celular e, em xiloglucanas e xilanas, em detrimento da manose de glucomanas.

A estrutura da vegetação do Cerrado pode ser explicada pela competição entre espécies lenhosas e herbáceas. No entanto, o aumento da concentração de CO₂ ([CO₂]) previsto sob a mudança climática atual pode modificar as respostas ecofisiológicas de espécies lenhosas e herbáceas devido às características funcionais de cada grupo, o que pode modificar a estrutura da vegetação à medida que as relações competitivas mudam entre as espécies (Melo et al., 2018). Estes autores estudaram as respostas ecofisiológicas e a competição entre duas espécies do cerrado sob elevada [CO₂]: uma gramínea exótica herbácea (*Melinis minutiflora* P. Beauv.) e uma espécie lenhosa endêmica do cerrado (*Hymenaea stigonocarpa* Mart. ex Hayne). Observou-se que a competição com *M. minutiflora* sob elevada [CO₂] levou a um aumento na área foliar específica, razão de área foliar e alocação de biomassa para a parte aérea em *H. stigonocarpa*. Por outro lado, *M. minutiflora* apresentou atraso no desenvolvimento foliar e alta massa seca do caule sob elevada [CO₂].

O aumento de CO₂ na atmosfera causa o efeito estufa, aumentando a temperatura do ar, o que afeta o crescimento das plantas. No entanto, tam-

bém pode aumentar a taxa de fotossíntese, gerando efeitos na herbivoria. Maia et al. (2019) avaliaram as respostas fotoquímicas do fotossistema II e o crescimento de *Hymenaea stigonocarpa* sob condições enriquecidas com CO₂ e expostas a eventos simulados de herbivoria. Observou-se que a herbivoria simulada na porção basal em concentrações altas de CO₂ induziu respostas positivas em *H. stigonocarpa*, levando à alocação de biomassa às partes vegetativas relacionadas à captação de recursos, como água e luz.

Um fator ambiental gerado pelo aumento da concentração de CO₂ é a seca. Rastrear o crescimento inicial das plantas sob condições variáveis pode determinar seus ajustes ecofisiológicos e as consequências para as funções do ecossistema. Souza et al. (2016) investigaram respostas ecofisiológicas de longo prazo em três espécies lenhosas do Cerrado: *Hymenaea stigonocarpa*, *Solanum lycocarpum* e *Tabebuia aurea*, cultivadas em ambiente natural e em ambiente com concentração elevada de CO₂. Algumas plantas, também foram submetidas a estresse hídrico para investigar a sinergia entre [CO₂] atmosférico e a disponibilidade de água no solo e seu efeito no crescimento das plantas. Observou-se que a [CO₂] elevada teve uma influência positiva no acúmulo de biomassa nas espécies de cerrado estudadas, como previsto para plantas sob alta [CO₂]. Assim, mesmo com o estresse hídrico, as espécies do Cerrado sob elevada [CO₂] tiveram um melhor crescimento.

Em florestas tropicais, clareiras podem aparecer devido à queda de árvores causada pela morte das árvores, por fenômenos climáticos ou incêndios. Quando essas clareiras aparecem, a nova condição de luz pode estimular a germinação e o crescimento de plântulas já germinadas, dependendo da suscetibilidade das espécies à fotoinibição e à capacidade de aclimação. Anjos et al. (2012) conduziram um experimento com três espécies arbóreas exigentes em luz e duas espécies tolerantes à sombra (entre elas *Hymenaea courbaril*), que cresceram em condições de pleno sol, e uma parte foi transferida para um ambiente com 20% da luz plena do dia, enquanto outra parte permaneceu nas mesmas condições (100% de luz, controle). Observou-se que a maior tolerância à fotoinibição observada em espécies exigentes de luz foi associada à sua maior capacidade de dissipação fotoquímica e à dissipação do excesso de energia de excitação, através do ciclo da xantofila, levando a uma menor geração de espécies reativas de oxigênio. *H. courbaril* apresentou valores baixos de amplitude de variação em seus parâmetros

de fluorescência, tanto para as plantas transferidas quanto para as plantas controle. Esses resultados são indicativos de uma baixa capacidade de regulação fotoquímica para dissipação da energia luminosa absorvida, revelando assim uma alta suscetibilidade à fotoinibição. No entanto, a fotoinibição verificada em *H. courbaril* pode não só representar danos no aparato fotossintético, mas também uma estratégia alternativa dessas espécies para consumir o excesso de energia absorvida e para superar o leve estresse causado pela exposição a longo prazo a alta irradiância de luz.

Em um experimento semelhante, no qual foram testadas quatro espécies arbóreas pioneiras e quatro espécies de sucessão tardia (incluindo *Hymenaea courbaril*), em dois ambientes contrastantes: a pleno sol (100% de luz) e 10% da luz plena do dia (sombra), Favaretto et al. (2011) observaram uma queda maior na razão da fluorescência variável em relação à fluorescência máxima da clorofila a (F_v/F_m) sob irradiação de luz solar total em espécies de sucessão tardia do que nas espécies pioneiras. *H. courbaril* ficou em segundo lugar com a maior queda entre todas as espécies. Em condições de sombra, os pigmentos clorofila a e clorofila b, bem como a soma de a e b, foram maiores em espécies de sucessão tardia do que nas pioneiras. Notavelmente, *H. courbaril* ficou em primeiro lugar em relação à maior concentração desses pigmentos, o que indica uma capacidade de absorção de luz mais eficiente em condições de baixa luminosidade.

Os estômatos são estruturas foliares essenciais para regular as trocas gasosas e o balanço hídrico nas plantas terrestres. Portanto, quantificar com precisão as características estomáticas é de grande importância para a compreensão dos processos fisiológicos das plantas em diferentes condições ambientais. Martins et al. (2012) investigaram o padrão de distribuição espacial dos estômatos na superfície dos folíolos de *Hymenaea courbaril* e os possíveis mecanismos que influenciam esse padrão, principalmente a expansão foliar. Eles observaram que os estômatos apresentam uma clara estrutura espacial nesta espécie: os valores médios das taxas de expansão foliar foram diferentes à direita em relação ao lado esquerdo da nervação primária de cada folíolo. Além disso, houve uma estreita relação, entre o padrão espacial da densidade estomática e a taxa de expansão foliar.

Em ambientes naturais, a salinidade representa um grande obstáculo para o desenvolvimento das plantas. Com o objetivo de compreender melhor os

efeitos que a salinidade provoca na fisiologia de espécies arbóreas nativas, Nascimento et al. (2015) avaliaram o comportamento fisiológico de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) mantidas sob condições de salinidade em meio hidropônico. Eles observaram que as mudas de jatobá se ajustam osmoticamente após a indução do estresse severo, uma vez que se acumulam soluções orgânicas (carboidratos, proteínas, aminoácidos e prolina), especialmente nas folhas. Essas soluções orgânicas contribuíram para a produção da turgescência foliar, gerada na estabilização das trocas gasosas, mesmo após a submissão ao estresse severo.

Efeito de metais pesados e contaminantes na fisiologia das plantas

A fitorremediação é uma técnica que proporciona descontaminação ambiental causada por poluentes inorgânicos ou orgânicos (Arslan et al., 2017). O princípio baseia-se na remoção ou transformação de contaminantes em formas menos tóxicas com base na fisiologia vegetal, bioquímica do solo e química dos contaminantes (Santos et al., 2018). Estes autores avaliaram o potencial fitorremediador de espécies arbóreas brasileiras *Calophyllum brasiliense*, *Eremanthus crotonoides*, *Hymenaea courbaril*, *Inga striata* e *Protium heptaphyllum* quanto a solos contaminados contendo ametrina e hexazinona. Mudas destas espécies foram acondicionadas em potes de 10 L, onde aplicou-se ametrina e hexazinona nas doses de 1.000 g ha⁻¹ e 500 g ha⁻¹, respectivamente. Observou-se que no tratamento com ametrina, *H. courbaril* apresentou o maior traço no solo em comparação com outras espécies e não foram registradas mortes para nenhuma espécie. Por outro lado, para hexazinona, somente *C. brasiliense* e *H. courbaril* sobreviveram, sendo que neste último a degradação da hexazinona ocorreu por rizodegradação.

Embora os metais pesados estejam naturalmente presentes no solo, atividades antropogênicas, assim como mineração, industrialização e agricultura, contribuem para o aumento da concentração desses elementos no solo. O Cu desempenha papéis na fotossíntese e na respiração, incluindo a transferência final de elétrons para o oxigênio. O Cu também auxilia na formação de lignina nas paredes celulares, fornecendo suporte para manter as plantas eretas. É particularmente importante na formação de grãos de pólen viáveis, formação de sementes e resistência ao estresse (NPCT, 2023). Contudo, em

grandes quantidades no solo, pode causar prejuízos às plantas. O conhecimento das respostas morfológicas das plantas quando expostas ao excesso de Cu é de grande importância para a recuperação de áreas contaminadas e para programas de fitorremediação. Marques et al. (2018) avaliaram o crescimento e as respostas fisiológicas de espécies arbóreas expostas a diferentes concentrações de cobre no solo. Foram realizados três experimentos, sendo um para cada espécie florestal em estudo: *Myroxylon peruiferum* (óleo de bálsamo), *Hymenaea courbaril* (jatobá) e *Peltophorum dubium* (canafistula), com as mesmas doses de cobre (0 mg kg⁻¹, 50 mg kg⁻¹, 100 mg kg⁻¹, 200 mg kg⁻¹ e 400 mg kg⁻¹ de Cu por quilograma de solo). Observou-se que o Cu não influenciou no crescimento vegetativo das espécies estudadas e, para *H. courbaril*, 56% a 92% do Cu ficou retido nas raízes e a translocação do Cu das raízes para a parte aérea foi muito restrita em todas as espécies. Este comportamento associado ao aumento da atividade de algumas enzimas do sistema antioxidante nas plantas pode indicar o potencial fitorremediador das espécies estudadas. De maneira análoga, Marques et al. (2016), em estudo sobre a morfologia radicular de mudas de *Hymenaea courbaril* L., observaram que a aplicação de 800 mg kg⁻¹ de Cu afetou negativamente o crescimento vegetativo e a biomassa da planta como um todo, bem como o comprimento, a área superficial, o diâmetro médio e o volume das raízes das plantas. A partir destes dois trabalhos, pode-se inferir que até ao menos 400 mg de cobre por kg de solo não houve efeito negativo nas plantas, enquanto a dose de 800 mg kg⁻¹ já causou danos.

O glifosato é aplicado para dessecação em plantio direto e manejo de pós-emergência em culturas tolerantes na agricultura. Borges et al. (2021) determinaram a sensibilidade de espécies nativas do Cerrado e da Caatinga à contaminação por glifosato via deriva e águas subterrâneas e avaliaram o nível de sensibilidade ao glifosato entre os diferentes órgãos das plantas. Na aplicação foliar de subdoses de glifosato (222 g ha⁻¹, 444 g ha⁻¹, 666 g ha⁻¹ e 1.110 g ha⁻¹ correspondente a 10%, 20%, 30% e 50% da dose comercial), não houve redução da área foliar e da matéria seca de folhas, do caule e do total de *H. courbaril*. Apenas a raiz desta espécie foi afetada, sendo o D50 (dose responsável por reduzir 50% da matéria seca da raiz em relação ao controle sem aplicação de herbicida) foi equivalente a 622 g ha⁻¹. Já a contaminação via água subsuperficial (três aplicações de 0,012 mg L⁻¹ de glifosato) em

sistema abastecido por água capilar causou diminuição da matéria seca do caule e total e da água evapotranspirada.

O uso do glifosato para inibir o crescimento de plantas daninhas antes do plantio de culturas agrícolas, ou até mesmo depois, no caso de culturas tolerantes, pode por deriva afetar outras espécies de interesse que habitam o entorno, inclusive plantas arbóreas. Por outro lado, espécies arbóreas plantadas podem necessitar do controle de plantas daninhas e, nesse caso, é interessante que estas tenham resistência a esse herbicida. Faria et al. (2022) avaliaram o efeito do glifosato em mudas de *Hymenaea courbaril* plantadas em potes de 5 L, aplicando as seguintes doses (tratamentos) de glifosato: 0 g ha⁻¹ (controle), 96 g ha⁻¹, 240 g ha⁻¹, 480 e 960 g ha⁻¹. Aos 60 dias após a aplicação dos tratamentos, a taxa fotossintética, a taxa transpiratória e a altura das plantas foram crescentes até a dose de 480 g ha⁻¹. Houve aumento linear no diâmetro do caule e diminuição no número de folhas com doses crescentes de glifosato. Esses resultados mostram que a cutícula protegeu a planta e que o pouco glifosato absorvido aumentou a fotossíntese e a transpiração para favorecer as plantas. Pode-se concluir que *H. courbaril* é capaz de sobreviver após contato com glifosato durante o tempo avaliado, sem danos visuais e/ou anatômicos, mostrando aumentos no crescimento e nas características fisiológicas para as doses testadas.

Gandini et al. (2014) avaliaram a seletividade de sulfentrazone e glifosato em mudas de *Hymenaea courbaril* L. (jatobá) e os efeitos do primeiro herbicida sobre a atividade microbiana rizosférica dessas plantas. Para esta avaliação, foram conduzidos dois experimentos. No primeiro, dez tratamentos foram compostos pela combinação de dois herbicidas (glifosato e sulfentrazone) aplicados em cinco doses (0,00 L ha⁻¹, 0,09 L ha⁻¹, 0,18 L ha⁻¹, 0,35 L ha⁻¹ e 0,70 L ha⁻¹ para cada um dos herbicidas), com as mudas acondicionadas em sacos de 5 L. O segundo experimento avaliou os efeitos da combinação de cinco doses do herbicida sulfentrazone e dois tipos de substrato (rizosférico e não rizosférico cultivados com mudas de jatobá) em relação à evolução de dióxido de carbono e carbono da biomassa microbiana. No primeiro, observou-se que a matéria seca do caule e da raiz, altura e diâmetro do caule, aos 60 dias após aplicação, não foram afetados pelas diferentes quantidades dos dois herbicidas aplicados nas mudas. Contudo, na dose de 0,70 kg ha⁻¹ de sulfentrazone, a área foliar foi menor do que nas doses menores. Com

relação aos indicadores microbiológicos, verifica-se que a evolução da concentração de dióxido de carbono e carbono da biomassa microbiana foram eficazes na presença de sulfentrazone, podendo constituir ferramentas auxiliares no monitoramento do impacto ambiental dos herbicidas.

Acidentes que ocorrem no processo de transporte do petróleo e de seus derivados têm sido um dos principais motivos de poluição ambiental nas últimas décadas. Pesquisas sobre alterações ocasionadas por esses poluentes na fisiologia de plantas ainda são escassas, sendo pouco conhecidos os efeitos ocasionados no metabolismo vegetal. Silva et al. (2017) analisaram o efeito do solo contaminado com óleo diesel na fisiologia de plantas jovens de *Hymenaea courbaril* L. e *Jatropha curcas* L. Os tratamentos utilizados foram: T₀ – controle (100% da capacidade máxima de retenção de água no solo – solo sem contaminação), T₁ e T₂ (50% da capacidade máxima de retenção de água no solo + adição de 23 mL e 46 mL de óleo diesel por quilograma de solo, respectivamente), e duas épocas de avaliação (3 horas e 192 horas após a contaminação). Observou-se nos tratamentos 1 e 2, após 192 horas, que a fotossíntese líquida, a transpiração e a condutividade hidráulica decresceram sensivelmente em relação ao controle nas duas espécies.

Bioestimulantes

Produtos que apresentam ação bioestimulante em mudas florestais, como à base de alga Acadian e hormônios, vêm sendo utilizados devido ao efeito benéfico na fisiologia e crescimento de plantas, com o intuito de melhorar a qualidade das mudas florestais. Smiderle et al. (2022) pesquisaram o efeito de quatro doses de Acadian e Stimulate (hormônios de crescimento) aplicados nas folhas, ambos com as mesmas concentrações (0 mL L⁻¹, 0,2 mL L⁻¹, 0,4 mL L⁻¹ e 0,6 mL L⁻¹) em mudas de *Hymenaea courbaril*. Observou-se que o Acadian e o Stimulate estimularam o crescimento das plantas de forma superior ao controle. O Acadian na dose de 0,2 mL L⁻¹, comparado ao Stimulate na mesma dose, mostrou valores superiores de massa seca da raiz, massa seca total e índice de qualidade de Dickson.

Pierezan et al. (2012) avaliaram a emergência e o crescimento inicial de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) tratadas com bioestimulante vegetal (Stimulate) e sob sombreamento (30%, 50% ou 100% de luz). Após esca-

rificação, as sementes foram tratadas com o bioestimulante nas doses de 15 mL, 25 mL e 35 mL para cada 0,5 kg de sementes, além da testemunha. Os resultados sugerem que as maiores dosagens utilizadas do bioestimulante ou a forma de aplicação influenciaram negativamente a emergência de plântulas de jatobá, e a dose de 35 mL pode ter sido excessiva, causando inclusive inibição. Apesar de não haver diferença significativa entre a testemunha e as doses de 15 mL e 25 mL de bioestimulante, a porcentagem de emergência das plântulas foi maior no tratamento sem o uso do bioestimulante. Em relação ao sombreamento, a maior altura das mudas foi obtida com 50% de luz, e o diâmetro do colo, não diferiu entre os dois níveis de sombreamento, sendo maior do que nas plantas a pleno sol (100% de luz).

Smiderle e Souza (2022) verificaram a emergência e o vigor de sementes escarificadas ou não de *Hymenaea courbaril*, utilizando diferentes concentrações de Acadian, Stimulate e *Trichoderma* spp., aplicadas nas sementes com as mesmas concentrações para todos os bioestimulantes. Observou-se que o Acadian na concentração de 5,0 mL L⁻¹ em sementes escarificadas de *H. courbaril*, exibe maior incremento no percentual de emergência, bem como na porcentagem de plântulas normais. O Stimulate nas concentrações de 10,0 mL L⁻¹ e 15,0 mL L⁻¹ é eficiente na obtenção de valores acima de 85% de emergência de plântulas com sementes submetidas a escarificação mecânica. Em relação ao *Trichoderma* spp., concentrações a partir de 9,0 mL L⁻¹ não favorecem ganhos no percentual de plântulas normais de *H. courbaril* em sementes com e sem escarificação mecânica.

Ecologia e restauração florestal

A compreensão de como a estrutura e a dinâmica populacional das espécies respondem às condições de luz em diferentes escalas é útil para explicar e prever padrões de ocorrência e abundância sob situações ambientais específicas, fornecendo subsídios para estratégias de conservação e recuperação das espécies-alvo em ambientes perturbados. Oliveira et al. (2011) avaliaram a estrutura populacional e os efeitos da intensidade luminosa no recrutamento de jatobá-da-mata (*Hymenaea courbaril* L.) em dois fragmentos de Mata de Galeria não inundável, com diferentes graus de perturbação antrópica: um mais antropizado (maior entrada de luz no sub-bosque) e outro mais preser-

vado (menor entrada de luz no sub-bosque) no Cerrado do Distrito Federal. Concluiu-se que, apesar da tolerância ao alto nível de sombreamento no interior da mata, o contínuo recrutamento da espécie pode estar relacionado à disponibilidade luminosa, um fator importante para o desenvolvimento das plantas. Os indivíduos jovens apresentaram tamanho mediano maior no ambiente mais perturbado e iluminado, característica que reforça o potencial para uso da espécie em estratégias de conservação.

Quando se pensa no mercado de crédito de carbono, normalmente cogita-se espécies que tenham grande produtividade anual, sejam de perenes ou plantas de ciclo mais curto. O jatobá (*Hymenaea courbaril*) é considerado de crescimento lento, característica normalmente atribuída a espécies de sucessão tardia. Provavelmente, para realizar um crescimento um pouco mais rápido desta espécie, deveria ser tutorado por plantas que proporcionem um sombreamento mais brando na fase inicial e, escolha de plantas de jatobá, com maiores aptidões de crescimento. Experimentos com plantio de *H. courbaril* têm sido realizados, sendo um deles realizado por Morais Júnior et al. (2019), que identificaram o potencial de 25 espécies de árvores para cálculo de estoque de carbono destas em área degradada com pontuação do sistema baseado na taxa de sobrevivência e incremento médio anual de carbono (IMAC). As espécies foram plantadas num espaçamento de 2 m x 2 m na mesma época. Concluíram que, devido ao crescimento relativo menor do que a maioria das espécies testadas e taxa de sobrevivência de 50%, *H. courbaril* aparentemente não seria uma boa escolha para finalidades de acúmulo de carbono a curto prazo.

O plantio de mudas é a estratégia mais comum usada para reintroduzir espécies de árvores nativas tropicais; no entanto, a semeadura direta apresenta vantagens de simplicidade e facilidade operacional. Por outro lado, características funcionais como tamanho da semente e taxas de crescimento têm se mostrado relevantes para um melhor desempenho da planta. Scaloppi e Souza (2020) avaliaram os efeitos da variação intraespecífica no tamanho das sementes e da estratégia de reintrodução simultaneamente no desenvolvimento de *Hymenaea courbaril* (L.) e *Enterolobium timbouva* (Mart.) introduzidas em um plantio de eucalipto abandonado ao longo de 462 dias. Plantas de sementes pequenas, médias e grandes foram reintroduzidas por meio de plantio de mudas e semeadura direta, colocando-se uma semente por cova.

Ambas as espécies alcançaram altas taxas de emergência e a sobrevivência foi alta nas duas estratégias de reintrodução. O tamanho da semente não teve relação com a emergência e o tempo médio de emergência para ambas as espécies. A sobrevivência de *Hymenaea courbaril* na semeadura direta, considerando a média dos três tamanhos de sementes, foi de 86,8% no campo, e o tamanho da semente teve pouco efeito nas taxas de sobrevivência, enquanto a sobrevivência das mudas foi, em média, 93,2%. Em geral, as plantas de *H. courbaril* introduzidas por semeadura direta tiveram maior taxa de crescimento do que as mudas plantadas, e o tamanho da semente correlacionou-se positivamente com o tamanho do caule.

Entre os principais problemas edáficos observados em áreas de empréstimo, encontram-se as quantidades reduzidas de matéria orgânica e nutrientes. Para a recuperação dessas áreas a revegetação tem sido indicada especialmente com espécies nativas (Mizobata et al., 2016). Estes autores avaliaram a contribuição de resíduos adicionados em diferentes proporções de solo de área degradada, um orgânico (macrófitos aquáticos) e um agroindustrial (cinza da queima de bagaço da cana), como condicionantes da fertilidade do solo e seus efeitos sobre o crescimento de mudas de *Hymenaea stigonocarpa* em sacos plásticos de 3,1 L. Observou-se, em relação ao controle sem adição de resíduos, que o resíduo agroindustrial promoveu incrementos em altura, massa seca da parte aérea e clorofila enquanto o resíduo orgânico influenciou a massa fresca da parte aérea e a clorofila.

Diferentes tipos de cobertura vegetal (sem cobertura, culturas agrícolas ou plantas de adubo verde) e adubação (sem adubação, NPK ou cama de frango) foram usados por Silva et al. (2015) para verificar a sobrevivência e o crescimento de diferentes espécies de árvores após a semeadura direta e se poderiam ser melhorados pelo uso de qualquer combinação dessas técnicas. Observou-se para *Hymenaea stigonocarpa* que o estabelecimento das plantas adubadas com NPK após 780 dias em relação às plantas de cobertura foi de 45% junto a culturas agrícolas (CA), 48% junto às plantas de adubo verde (AV) e 49% sem cobertura (SC).

As matas ciliares promovem a proteção das encostas de rios e lagos prevenindo a erosão do solo e o assoreamento dos cursos d'água. Dessa forma, a supressão da vegetação ocasiona impactos na fauna, flora, microclima local e comunidades circunscritas à vegetação. Portanto, a recuperação dessas

matas merece atenção especial. Sousa et al. (2019) avaliaram a sobrevivência de *Hymenaea courbaril* L. (jatobá) e *Parkia multijuga* Benth (fava-arara-tucupi) sobre três formas de manipulação vegetativa em um trecho de mata ciliar, a saber: plantio de mudas, raiz nua de sementes pré-germinadas e sementes. Em cada cova utilizou-se de 5 a 8 propágulos das três formas. Aos 77 dias após o plantio, a sobrevivência das plantas foi de 100% para mudas e raiz nua e 61% para sementes, ou seja, nesta última, germinaram entre 3 e 5 sementes por cova.

Os estudos sobre a composição florística e a estrutura fitossociológica das formações florestais são de fundamental importância, pois oferecem subsídios para a compreensão da estrutura e da dinâmica destas formações, parâmetros imprescindíveis para o manejo e regeneração das diferentes comunidades vegetais (Chaves et al., 2013). Silva et al. (2004) efetuaram o levantamento fitossociológico, composição florística e distribuição espacial dos indivíduos das espécies arbóreas ocorrentes no sub-bosque de mata ciliar da Reserva Genética Florestal Tamanduá, DF, focalizando *Cariniana estrellensis*, *Apuleia leiocarpa*, *Copaifera langsdorffii*, *Anadenanthera macrocarpa*, *Virola sebifera*, *Hymenaea courbaril* var. *stilbocarpa*, *Aspidosperma discolor*, *Astronium fraxinifolium* e *Schefflera morototoni*, consideradas prioritárias para conservação in situ. Observou-se para *H. courbaril* var. *stilbocarpa*, em relação aos regenerantes (circunferência à altura da base < 5 cm), que a densidade absoluta [número de indivíduos de jatobá (Nij) dividido pela área] foi de 68,26 indivíduos por hectare, a densidade relativa foi 0,32% [(Nij/Ntia)*100, onde Ntia = número total de indivíduos amostrados], a frequência absoluta (número de parcelas que uma espécie ocorre em relação ao número total de parcelas multiplicado por 100) foi de 14,63% e a frequência relativa (a porcentagem da frequência absoluta do jatobá em relação ao somatório das frequências absolutas de todas as espécies amostradas) foi de 0,94%.

O tipo de regenerante, considerando a dimensão do diâmetro do tronco, proporciona um cenário mais específico da estrutura das espécies da floresta. Juracy et al. (2020) analisaram a estrutura e as espécies arbóreas ocorrentes num remanescente de floresta estacional decidual (ocorre também no Bioma Cerrado) em Ladário, MS. Amostraram-se árvores com circunferência à altura do peito (CAP) > 10 cm. Observou-se que para *Hymenaea courbaril* que a densidade absoluta foi de 5 indivíduos por hectare, a densidade relativa

foi de 0,32%, a frequência absoluta foi de 5%, a frequência relativa foi de 0,53% e o valor de importância foi de 16,01% (soma dos valores relativos da densidade, da dominância e da frequência). A dominância relativa expressa a porcentagem da área basal do jatobá em relação à área basal de todas as espécies amostradas.

A posição espacial da árvore em relação a cursos de água em matas ciliares pode afetar a estrutura e distribuição de espécies. Miguel et al. (2011) avaliaram as mudanças na estrutura da vegetação no período de 1999 a 2006 em Nova Xavantina, MT. Em 1999, foram demarcadas parcelas permanentes em três porções da mata (alto, meio e baixo), em um gradiente topográfico, e medidos os indivíduos com CAP ≥ 15 cm. *Hymenaea courbaril* apresentou indivíduos na porção do alto e do meio, onde nesta mostrou parâmetros fitossociológicos mais expressivos: número de indivíduos por hectare (8), densidade relativa (1,97%), dominância relativa (9,72%), frequência relativa (1,86%) e valor de importância (13,56%).

A dispersão de sementes e a predação são processos críticos para o recrutamento de plantas que podem ser afetados por eventos de incêndio. Cazetta e Vieira (2021) investigaram a remoção de sementes por vertebrados em matas de galeria com históricos distintos de queimadas (queimadas ou não queimadas por pelo menos 3 anos antes) no Cerrado. Observou-se que a taxa de remoção de sementes de *Hymenaea courbaril* por grandes mamíferos foi extremamente baixa em áreas queimadas, indicando que a manutenção de serviços de dispersão prestados por estes mamíferos (principalmente a cutia *Dasyprocta azarae*) pode ser prejudicada pela queima de matas ciliares.

A produção de madeira de espécies arbóreas nativas no Brasil é limitada principalmente à exploração de florestas naturais e a identificação de habitats potenciais para o plantio de árvores pode oferecer novas oportunidades para a conservação de florestas naturais e seu manejo, e aumentar a viabilidade de plantações de espécies nativas para a produção de madeira altamente valiosa (Martins et al., 2020). Estes autores identificaram habitats potenciais para plantio de árvores nativas usando um modelo de zoneamento de cultivo que combina variáveis ambientais e modelagem de demanda de madeira para o estado de Minas Gerais. A interação entre demanda de madeira e áreas com potencial para plantio de cada espécie permitiu a especificação

de regiões prioritárias para reflorestamento. Para *Hymenaea courbaril*, essas áreas corresponderiam a 4.193,8 km² em Minas Gerais.

Silvicultura

A palavra silvicultura provém do latim, significando floresta (silva) e cultivo de árvores (cultura). Silvicultura é a arte e a ciência que estuda as maneiras naturais e artificiais de restaurar e melhorar o povoamento nas florestas, atendendo às exigências do mercado. Esse estudo pode ser aplicado na manutenção, no aproveitamento e no uso consciente das florestas (Barros, 2023).

O cálculo do volume de madeira de determinada área é uma das atribuições da silvicultura. Uma boa estimativa da volumetria de espécies comerciais é importante para a empresa florestal avaliar corretamente o estoque de madeira e analisar o potencial produtivo de suas florestas. Isso é fundamental para o planejamento de colheita das empresas que executam ações de manejo florestal (Ribeiro et al., 2014). Esses autores analisaram diferentes comprimentos de seção para cubagem e ajustaram modelos volumétricos para a estimativa da produção madeireira de três espécies, incluindo a *Hymenaea courbaril*. Observou-se que não houve diferença estatística entre os métodos de seccionamento, sendo o comprimento total das toras foi o mais operacional em campo. Os modelos de Schumacher-Hall e Spurr, na forma logarítmica, foram os que melhor estimaram o volume.

O uso de plantas pioneiras, principalmente leguminosas fixadoras de nitrogênio, associadas às espécies secundárias e climácicas, tem possibilitado bons resultados na recuperação de áreas degradadas. No entanto, é importante estabelecer espaçamentos adequados entre as espécies para obter uma rápida cobertura e proteção do solo, sem que haja forte competição das plantas por luz, água e nutrientes (Zuba Júnior et al., 2010). Esses autores avaliaram o crescimento do *Hymenaea courbaril* e de leguminosas arbóreas, em sistema de quincôncio (arranjo das plantas em grupos de cinco com uma no centro) e diferentes espaçamentos. Os tratamentos corresponderam a três espécies de leguminosas pioneiras (*Acacia mangium*, *Senna multijuga* e *Leucaena leucocephala* combinadas com o *Hymenaea courbaril*) e três espaçamentos entre plantas pioneiras (4 m x 2 m; 4 m x 3 m e 4 m x 4 m). Observou-se que o crescimento de *Hymenaea courbaril* foi levemente superior, após 2 anos do

plântio, quando rodeado por *Senna multijuga*, e o espaçamento mais adensado (4 m x 2 m) entre as espécies pioneiras favoreceu o maior crescimento desta espécie.

A geração de equações consistentes de biomassa deve ser priorizada para um maior número de espécies de Cerrado, visando uma melhor estimativa de biomassa e estoques de carbono para inventários de carbono nacionais e globais. Salis e Mattos (2019) desenvolveram uma equação para estimar com mais precisão a biomassa de *H. stigonocarpa* em áreas de Cerrado. Observou-se, em média, que a espécie investe $58\% \pm 12\%$ (amplitude de variação) em troncos, $38\% \pm 11\%$ em galhos e $5\% \pm 4\%$ em folhas, apresentando biomassa aérea variando de 5 kg a 2.758 kg. As melhores equações (R^2 maior que 0,8) foram obtidas usando o diâmetro ao nível do chão (DNC), em vez do diâmetro à altura do peito (DAP) para biomassa aérea total (biomassa = $0,0111 \text{ DNC}^{3,0743}$; $R^2 = 0,9937$) e para os componentes individualmente (tronco, galhos e folhas).

O consórcio de culturas agrícolas e espécies arbóreas normalmente reduz o custo de implantação do segundo. Martinotto et al. (2012) avaliaram a sobrevivência e o crescimento inicial de seis espécies arbóreas do Cerrado em consórcio com mandioca (*Manihot esculenta*), com ou sem adubação fosfatada. Utilizou-se uma distância fixa de 3 m x 3 m para as espécies arbóreas e de 1,00 m x 0,60 m para a mandioca. Após 20 meses do experimento no campo, observou-se para *Hymenaea stigonocarpa* uma sobrevivência de 95% e baixa taxa de crescimento. Dentro do consórcio jatobá/mandioca, a adubação fosfatada comparada à não adubada produziu mudas com altura média menor. Na monocultura, o diâmetro e altura médias das plantas de jatobá adubadas com fósforo não diferiram estatisticamente das plantas não adubadas.

Crescimento de jatobá: ênfase na dendrocronologia

A dendrocronologia é uma ferramenta valiosa para entender as relações clima-crescimento e idade-crescimento de árvores de espécies nativas de florestas tropicais. As informações obtidas dos anéis de crescimento podem elucidar as respostas climáticas de crescimento de árvores sob as mudanças ambientais em curso e apoiar o desenvolvimento de estratégias de manejo de

florestas sustentáveis baseadas em espécies e condições do local. Granato-Souza et al. (2019) estudaram sobre a idade e trajetória de crescimento das árvores junto a efeitos climáticos em *Hymenaea stigonocarpa* no sudeste do Brasil em povoamento com árvores variando de 20 a 35 anos. Observou-se que a cronologia padrão (1981 a 2013) foi positivamente correlacionada com a precipitação no final da estação de crescimento (março-abril). A cronologia foi capaz de captar padrões de anomalias de temperatura da superfície do mar do Atlântico Sul e Norte, e Pacífico Sul, relacionados ao sistema de Monções da América do Sul influenciando no crescimento de *H. stigonocarpa*.

As florestas decíduas (mata-seca) que crescem no Bioma Cerrado, especialmente sobre solos rasos mais porosos, podem apresentar problemas de sobrevivência de algumas espécies, caso mudanças climáticas atuem no aumento do período seco. Locosselli et al. (2016) construíram uma cronologia através de anéis de árvores de *Hymenaea courbaril* situadas em uma floresta seca de Cerrado sobre rocha calcária e avaliaram como o clima local e as teleconexões modulam o seu crescimento. Os resultados mostraram que a umidade do ar, a quantidade de precipitação e sua distribuição durante o período de transição entre as estações seca e chuvosa regulam positivamente o crescimento desta espécie. Por outro lado, o crescimento está negativamente correlacionado com a temperatura durante o meio da estação seca do ano anterior. Adicionalmente, o crescimento está negativamente correlacionado com a temperatura da superfície do mar do Atlântico Sul, mas não com o Pacífico Equatorial. Essas relações entre clima e crescimento indicam que aumentos previstos na temperatura regional e diminuições na disponibilidade de água podem limitar o crescimento de *H. courbaril* nas florestas secas sobre rochas calcárias.

Lopez et al. (2013) documentaram as taxas de crescimento radial de sete espécies tropicais amplamente utilizadas para madeiras no Cerrado boliviano, a região com maior produção de madeira da Bolívia. Variações interanuais em larguras de anéis de árvores foram medidas em seções transversais de *Amburana cearensis*, *Cedrela fissilis*, *Platimiscium ulei*, *Centrolobium microchaete*, *Hymenaea courbaril*, *Anadenanthera colubrina* e *Ficus boliviana*. Para um período comum de 100 anos, o crescimento diamétrico anual médio de *Hymenaea courbaril* foi de 0,55 cm, o crescimento de área basal média foi de 3,72 cm² por ano e a idade de rotação biológica (incremento médio

anual = incremento corrente anual) foi >120 anos, sendo o diâmetro na idade biológica de corte maior que 66 cm. Para atingir um diâmetro mínimo de corte de 50 cm, a idade das árvores variou de 60 a 120 anos.

Os dados apresentados por Lopez et al. (2013) estão em concordância com os apresentados por Lacerda e Sebbenn (2010), os quais utilizaram software de modelagem com dados da Floresta Nacional de Tapajós de *Hymenaea courbaril*, mostrando que as práticas atuais no Brasil [ciclo de 30 anos, porcentagem de árvores derrubadas (AD) de 90% e diâmetro mínimo de corte (DMC) de 50 cm] são insustentáveis e as práticas ideais devem considerar ciclos de aproximadamente 110 anos e uma combinação de DMC maior (75 cm a 100 cm) e menor AD (10% a 50%).

Outra forma de verificar os efeitos climáticos no crescimento em diâmetro do caule de espécies arbóreas é fazendo medições periódicas junto a dados de temperatura, precipitação, umidade relativa e horas de luz do dia e, de forma complementar, determinar a densidade da madeira (Dm). Valverde et al. (2021) caracterizaram os efeitos da variação climática sobre o crescimento em diâmetro (Cd) de oito espécies arbóreas, entre elas *Hymenaea courbaril* em uma floresta tropical seca. Observou-se, em um período de 4 anos, que o crescimento médio anual foi de 0,68 mm em *Hymenaea courbaril*, havendo relação positiva entre Cd com precipitação e negativa entre Cd e temperatura média anual. Constatou-se quanto maior a Dm, menor o Cd.

Locosselli et al. (2017) avaliaram a idade e a taxa de crescimento radial de três espécies de *Hymenaea* (*H. courbaril*, *H. parvifolia* e *H. stigonocarpa*) que habitam quatro dos seis biomas encontrados no Brasil, inclusive o bioma Cerrado. No Cerrado, *Hymenaea courbaril* e *Hymenaea stigonocarpa* tiveram taxa média de crescimento entre 1,00 mm/ano e 3,00 mm/ano no primeiro e 0,89 mm/ano a 2,81 mm/ano no segundo e as árvores dessas duas espécies apresentaram um padrão constante e semelhante de taxa de crescimento até 50 anos, seguido de um claro declínio.

Espécies de árvores usam uma variedade de estratégias para obter recursos. Como resultado, espécies de florestas semidecíduas e espécies do Cerrado podem crescer em áreas contíguas e no mesmo clima, embora ocupando vegetação de tipos muito diferentes (Locosselli et al., 2013). Estes autores estudaram a dinâmica de respostas de *Hymenaea courbaril*, uma espécie

florestal, e *Hymenaea stigonocarpa*, uma espécie do Cerrado, a variação do clima anual e aumento das concentrações atmosféricas de CO₂ nas mesmas condições macroclimáticas. Observou-se que ambas as espécies responderam à variação climática de forma semelhante, mas com diferentes intensidades e em diferentes momentos do ano. Os modelos climáticos mostraram que a precipitação foi o efeito mais forte na largura do anel da árvore e na área do vaso do lenho inicial de *H. coubaril* e a temperatura foi um pouco mais determinante para *H. stigonocarpa*.

Espécies de árvores amplamente distribuídas geralmente enfrentam diferentes condições de crescimento em gradientes de variáveis climáticas. *Hymenaea courbaril* habita a maior parte das planícies neotropicais, onde seu crescimento é limitado pela baixa precipitação sob regimes de precipitação sazonal. No entanto, ainda não está claro quais são os fatores da variabilidade do crescimento em seus limites de distribuição, onde as populações são mais vulneráveis às mudanças climáticas (Locosselli et al., 2019). Estes autores avaliaram o papel da variabilidade da precipitação e da temperatura na taxa de crescimento de duas populações de *H. courbaril* nos limites sul de sua ocorrência. Os locais de amostragem compreenderam dois fragmentos de floresta semidecídua com solos intemperizados e quimicamente pobres, condições de temperatura semelhantes, diferindo apenas em tamanho e regime de precipitação. A interpretação dos dados ambientais foi realizada por métodos dendrocronológicos padrão. Observou-se que as árvores exibem taxas médias de crescimento semelhantes ao longo da vida, sem evidência de influência de tamanhos diferentes de fragmentos. No entanto, a precipitação influenciou positivamente o crescimento anual no local mais seco, enquanto teve um efeito negativo no crescimento no local mais úmido.

O crescimento de *Hymenaea courbaril* e *H. stigonocarpa* é considerado lento, e o primeiro, em geral, apresenta crescimento mais rápido. No bioma Cerrado, existem poucos exemplos de dados mais longevos, em condições experimentais. Contudo, foram realizados alguns experimentos com *Hymenaea courbaril* var. *stilbocarpa* em condições ambientais do Bioma Cerrado (Tabela 3).

Tabela 3. Crescimento de *Hymenaea courbaril* var. *stilbocarpa* em experimentos, em condições ambientais de Cerrado ou floresta estacional semidecídua, tipos de vegetação que fazem parte do bioma Cerrado.

Local	Idade (anos)	Precipitação média anual (mm/ano)	Temperatura média anual (°C)	Espaçamento (m x m)	Altura média (m)	DAP médio (cm)	Classe de solo ⁽¹⁾	Fonte
Avaré, SP	28	1.350	20,4	2 x 2	5,5	3,9	LVd	Aoki e Souza (1990)
Cosmópolis, SP	20	1.478	21,7	-	14,2	22,0	LVdf	Nogueira (1977)
Jaboticabal, SP	4	1.460	22,6	4 x 4	2,4	1,8	LVd	Fonseca et al. (1974)
Santa Rita do Passa Quatro, SP	10	1.273	21,3	-	4,8	5,6	LVd	Gurgel Filho et al. (1982)
Santa Rita do Passa Quatro, SP	27	1.273	21,3	-	14,8	19,0	LVd	Gurgel Filho et al. (1982)

⁽¹⁾ LVd = Latossolo vermelho distrófico; LVdf = Latossolo Vermelho distrófico.

Plantas daninhas

As gramíneas invasoras representam um dos maiores obstáculos a serem superados em plantios de restauração. Assim, desenvolver técnicas eficientes e de baixo custo para superar esse obstáculo é uma meta tanto para a ciência quanto para a prática da restauração ecológica. Gonçalves et al. (2018) avaliaram o efeito do coroamento com papelão e enxada sobre o crescimento de espécies arbóreas e os custos operacionais dessa técnica em um reflorestamento implantado. Observou-se que, para *Hymenaea courbaril*, aos 15 meses após o plantio, que o coroamento com enxada proporcionou plantas com maior altura e diâmetro do colo semelhante ao coroamento com papelão. Contudo, o coroamento com papelão, mostrou-se uma prática mais econômica.

O efeito da presença do capim-braquiarião (*Urochloa brizantha*) sobre o crescimento de cinco espécies arbóreas foi estudado por Santos et al. (2019). Utilizou-se vasos de 18 kg, com uma muda da espécie arbórea para quatro plantas da gramínea, realizando a poda destas aos 90 dias do plantio. Observou-se que, para *Hymenaea courbaril*, aos 180 dias do plantio, a altura foi maior no tratamento sem as gramíneas e, a mortalidade foi de 30% para as mudas no tratamento com as gramíneas.

O impacto da presença da gramínea exótica (*Brachiaria decumbens*) na herbivoria e no desenvolvimento de plântulas de espécies nativas (*Hymenaea stigonocarpa* e *Dipteryx alata*) do Cerrado foi estudado por Pires et al. (2012) em áreas com e sem pastagem, onde foram semeadas as espécies arbóreas. Observou-se que as plântulas de *Hymenaea stigonocarpa* nos tratamentos com gramínea tiveram maior taxa de crescimento em diâmetro que as plântulas no tratamento sem gramíneas e mostraram maiores concentrações de carbono e menores de água.

Gandini et al. (2011) avaliaram a capacidade competitiva do jatobá (*Hymenaea courbaril*) com espécies de adubos verdes, forrageiras e plantas daninhas quanto à alocação de matéria seca, área foliar e concentração de nutrientes. Foram conduzidos dois experimentos, com os tratamentos compostos pela combinação de mudas de jatobá, desenvolvendo-se isoladamente ou em competição com cada uma das seguintes espécies: *Brachiaria humidicola*, *Brachiaria brizantha*, *Brachiaria decumbens*, *Panicum maximum*, *Cajanus*

cajan, *Canavalia ensiformis* e *Mucuna aterrima* (experimento 1) e *Bidens pilosa*, *Cenchrus echinatus*, *Euphorbia heterophylla*, *Lolium multiflorum* e *Solanum americanum* (experimento 2), além do cultivo de cada planta daninha e consorte isoladamente. Após convivência por 60 dias (uma planta de jatobá com uma planta competitiva em vaso de 6 dm³), observou-se que a competição entre as plantas não promoveu alterações na produção de matéria seca ou área foliar do jatobá.

Microrganismos simbióticos

Existem evidências consideráveis de que os fatores abióticos têm uma influência importante na diversidade microbiana dos ecossistemas naturais. Rocha et al. (2020) testaram a hipótese de que microrganismos rizosféricos e endofíticos isolados das raízes de *Hymenaea courbaril* L. em dois biomas com características ecológicas distintas – Pantanal e Cerrado –, apresentam características funcionais distintas. Observou-se uma porcentagem maior de microrganismos do Pantanal (em comparação com o Cerrado), os quais apresentaram função intensa ou muito intensa na síntese de ácido indol-3-acético (AIA) e antibiose. Os microrganismos do Cerrado foram mais efetivos na solubilização de fosfatos, e as concentrações médias de P solubilizado por esses microrganismos foram superiores às observadas nos isolados do Pantanal quando as fontes foram AlPO_4 e FePO_4 , o que indica uma relação potencial entre as altas concentrações de Al e Fe encontradas naturalmente nos solos do Cerrado e as características funcionais de sua microbiota endêmica.

Os fungos micorrízicos arbusculares em associação com raízes das plantas podem aumentar a absorção de água e nutrientes pela planta, sendo que a planta que fornece fotoassimilados para o fungo. Lacerda et al. (2011) avaliaram o benefício da inoculação com o fungo micorrízico arbuscular *Glomus clarum*, sobre o crescimento inicial da gabiroba (*Campomanesia cambessedeanana*), baru (*Dipterix alata*), jatobá (*Hymenaea courbaril*), ingá (*Inga laurina*), caroba (*Jacaranda cuspidifolia*) e chichá (*Sterculia striata*), espécies arbóreas nativas do Bioma de Cerrado, em solo não esterilizado com baixo (0,02 mg L⁻¹) e alto (0,2 mg L⁻¹) teor de P na solução do solo. Observou-se em jatobá que a inoculação com *G. clarum* não promoveu maior crescimento em relação a plantas não inoculadas; contudo, a maior dose de P apresentou maior crescimento nas plantas do que a menor dose de P.

Carvalho et al. (2022) avaliaram os efeitos da inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) e adubação fosfatada sobre o crescimento e a qualidade de mudas de jatobazeiro (*Hymenaea courbaril* L.). Os tratamentos foram constituídos pela inoculação com os FMAs: *Clareoideoglosum etunicatum*, *Rhizoglosum heterosporum*, *Rhizoglosum clarum*, MIX (mistura dos inóculos) e sem inoculação com os FMAs, associados a doses de P. Observou-se que mudas com *R. clarum* e MIX tiveram maior crescimento aos 150 dias após o transplante, enquanto as mudas com *R. clarum* também resultaram em maior acúmulo de biomassa. A dependência e a eficiência micorrízica foram afetadas pela adubação fosfatada, evidenciando que o jatobazeiro é uma espécie de associação micorrízica facultativa.

A esporulação de microrganismos num substrato pode beneficiar a sobrevivência e o crescimento das mudas, especialmente em condições de campo, onde o estresse é maior. Gonzaga et al. (2016) avaliaram substratos orgânicos e esporulação de fungos micorrízicos arbusculares na produção de mudas de canafístula (*Peltophorum dubium* Spreng. Taub.), cutieira (*Joannesia princeps* Vell.), jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) e seringueira (*Hevea brasiliensis* M. Arg.), árvores nativas com potencial uso em programas de restauração florestal. Observou-se que as diferentes formulações de substrato não afetaram o crescimento do jatobá; contudo, houve maior esporulação no substrato constituído por 60% de solo + 20% de areia + 20% de cama aviária de poedeiras.

Hymenaea courbaril é amplamente distribuída na região Neotropical e possivelmente tolerante a uma série de variações ambientais, incluindo a adaptação a solos secos, sendo que; microrganismos promotores de crescimento, isolados das raízes e da rizosfera dessa planta podem afetar sua resistência à supressão de água. Vitorino et al. (2022) testaram o comportamento de *H. courbaril* em situação de estresse hídrico, biocondicionando as sementes dessa espécie com microrganismos, seguido do cultivo dessa planta em regime de déficit hídrico por três meses. Observou-se que as bactérias, particularmente os isolados de *Bacillus cereus*, *B. thuringiensis* e *Paenibacillus alvei*, foram mais eficazes do que os fungos na promoção do crescimento em *H. courbaril* sob supressão de água. Além disso, os tratamentos de inoculação com *B. thuringiensis* e *Curvularia intermedia* (fungo) minimizaram os danos fotoquímicos induzidos pela deficiência hídrica, com valores observados semelhantes ou superiores aos observados em plantas irrigadas.

Atributos da madeira trabalhada e sujeita a intempéries

Nesta seção, serão abordadas a trabalhabilidade e a secagem da madeira, suas propriedades físicas e mecânicas e as alterações que a madeira sofre devido às intempéries ambientais e biológicas.

A madeira de jatobá é moderadamente fácil de ser trabalhada, podendo ser aplainada, colada, parafusada e pregada sem problemas. Apresenta resistência ao torneamento e ao corte com faca. O acabamento é bom e aceita pintura, verniz e lustre. A madeira seca ao ar apresenta poucas deformações, embora seja possível observar a presença de rachaduras e empenamentos quando a secagem é muito rápida (Jankowsky et al., 1990).

A madeira das espécies de jatobá é semelhante quanto à densidade de massa e aos caracteres anatômicos, sendo que no comércio têm, praticamente, o mesmo valor (Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1989). A seguir, são apresentadas as propriedades físicas e mecânicas da espécie *Hymenaea stilbocarpa* Hayne determinadas no IPT.

Propriedades físicas

Densidade de massa (r)

- Aparente a 15% de umidade ($r_{ap, 15}$): 960 kg/m³.
- Básica ($r_{básica}$): 800 kg/m³.

Contração

- Radial: 3,1%
- Tangencial: 7,2%
- Volumétrica: 10,7%

Propriedades mecânicas

Flexão

- Resistência (f_M):
 - Madeira verde: 131,6 MPa.
 - Madeira a 15% de umidade: 151,8 MPa.

- Limite de proporcionalidade:
 - Madeira verde: 55,8 MPa.
- Módulo de elasticidade:
 - Madeira verde: 14.837 MPa.

Compressão paralela às fibras

- Resistência (f_{co}):
 - Madeira verde: 67,0 MPa.
 - Madeira a 15% de umidade: 82,2 MPa.
- Coeficiente de influência de umidade: 3,2%
- Limite de proporcionalidade:
 - Madeira verde: 46,3 MPa.
- Módulo de elasticidade:
 - Madeira verde: 17.691 MPa.
- Módulo de elasticidade:
 - Madeira a 12%: 21.881 MPa em *Hymenaea stilbocarpa* (Lahr et al., 2016).

Outras propriedades

- Resistência ao impacto na flexão:
 - Madeira a 15% (choque): 33,7 kJ/m².
- Cisalhamento:
 - Madeira verde: 17,5 MPa
- Dureza janka paralela:
 - Madeira verde: 11.180 N.
- Tração normal às fibras:
 - Madeira verde: 13,1 MPa.
- Fendilhamento:
 - Madeira verde: 1,5 MPa.

A madeira do jatobá pertence à classe de resistência C60 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1997), baseada principalmente no valor da compressão paralela às fibras com a madeira a 12% de umidade, a qual é considerada muito resistente para fins estruturais.

Na Figura 5, observa-se a madeira do jatobá (*Hymenaea courbaril*) em corte transversal, radial e tangencial.



Figura 5. Amostras de madeira de *Hymenaea courbaril* em corte transversal, radial e tangencial.

Fonte: Hopkins (2004) – Embrapa.

Alterações da madeira às intempéries ambientais e biológicas

A importância e o impacto das espécies invasoras da madeira são geralmente considerados com base em suas implicações econômicas, particularmente os danos diretos que causam. O cupim de madeira seca das Índias Ocidentais *Cryptotermes brevis* (Walker), é uma preocupação em madeira estrutural, móveis e outros produtos de madeira (Cosme Jr et al., 2017). Esses autores conduziram bioensaios com *C. brevis* em amostras de madeira de nove espécies relacionando suas propriedades físicas com a intensidade de ataque dos cupins. Observou-se que o pinheiro (*Pinus* sp.), o jequitibá (*Cariniana* sp.) e o angelim (*Hymenolobium petraenum*) exibiram as maiores perdas e maiores infestações; cumaru (*Dipteryx odorata*), guariuba (*Clarisia racemosa*) e o coração-roxo (*Peltogyne* sp.) apresentaram as menores perdas e infestações; courbaril (*Hymenaea courbaril*), eucalipto (*Eucalyptus* sp.) e tatajuba (*Bagassa guianensis*) apresentaram resultados intermediários. Concluiu-se que a dureza da madeira e, em particular, a densidade da madeira foram os principais determinantes da resistência da madeira aos cupins, que exibiram menores infestações associadas a maior desgaste da mandíbula ao infestar madeiras mais duras e de alta densidade.

A durabilidade natural da madeira trata-se de excelente característica para destinar as peças de madeira em condições adequadas e eficientes de uso. Batista et al. (2020) avaliaram a resistência natural de seis espécies florestais madeireiras a cupins xilófagos em condições de campo. As madeiras estudadas das espécies tropicais foram andiroba (*Carapa guianensis*), aroeira (*Myracrodruon urundeuva*), cedro (*Cedrella* sp.), jatobá (*Hymenaea courbaril* L.), louro canela (*Nectandra* sp.) e maçaranduba (*Manilkara elata*). Em relação à exposição ao cupim *Nasutitermes corniger*, as madeiras de aroeira, jatobá e maçaranduba se destacaram nos valores de notas atribuídas ao desgaste, bem como, na baixa susceptibilidade ao ataque, tendo demonstrado maior durabilidade natural e resistência biológica ao ataque.

O efeito do intemperismo natural (exposto a condições ambientais naturais) e artificial (exposto a condições controladas e extremas de luz, temperatura e umidade) na anatomia de sete espécies tropicais folhosas: Bangkirai (*Shorea obtusa*), Cumaru (*Dipteryx odorata*), Cumaru Rosa (*Dipteryx magnifica*), Ipê (*Tabebuia serratifolia*), Jatobá (*Hymenaea courbaril*), Kusia

(*Nauclea diderrichii*) e Massaranduba (*Manilkara bidentata*) foram estudados por Mamoňová e Reinprecht (2020). Observou-se em *H. courbaril* que as superfícies naturalmente intemperizadas da madeira foram caracterizadas por frágeis fraturas de fibras libriformes e, as superfícies artificialmente intemperizadas, foram caracterizadas por um encolhimento extremo de células do parênquima, fraturas de fibras libriformes e a ocorrência de estruturas esféricas na superfície das paredes de fibra, bem como um pronunciado enrugamento termomecânico.

O teste dinâmico de dureza ao impacto baseado no impacto de esferas de aço, com diversos diâmetros e alturas de queda, é usado para determinar a resistência de pisos de madeira a pressões de carregamento. Acuña et al. (2020) realizaram ensaios dinâmicos de dureza em corpos de prova de pisos de madeira maciça e reconstituída de *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus grandis*, *Quercus robur* e *Hymenaea courbaril*. Observou-se que *H. courbaril* apresentou menores valores de diâmetro de pegada e profundidade de indentação em relação às outras espécies para todas combinações de diâmetro de esfera e alturas de queda, comprovando seu uso no mercado de pisos.

Processos que levam à mudança de cor da madeira

A estrutura anatômica e a composição química da madeira afetam não apenas suas propriedades mecânicas e físicas, mas também suas propriedades estéticas. A cor da madeira e sua resistência são um dos aspectos estéticos mais importantes. Baar e Gryc (2012) submeteram amostras de madeira de seis espécies [jatobá (*Hymenaea courbaril*), massaranduba (*Manilkara bidentata*), pau-tigre (*Astronium graveolens*), angelim amargoso (*Vatairea* spp.), angelim pedra (*Hymenolobium* spp.) e angelim vermelho (*Dinizia excelsa*)] a um tratamento com luz de lâmpada de arco de xenônio simulando luz solar externa, por 144 horas. Após duas horas no tratamento de luz houve mudanças de cor para cada espécie, sendo que o jatobá foi a terceira espécie menos afetada na mudança de cor.

Para a estabilidade da cor da madeira em condições de intemperismo, podem-se usar óleos vegetais pigmentados ou não. Pánek e Reinprecht (2016) aplicaram óleos vegetais na superfície de móveis externos de quatro espécies [kusia (*Nauclea diderrichii*), bangkirai (*Shorea obtusa*), massaranduba

(*Manilkara bidentata*) e jatobá (*Hymenaea courbaril*)] e analisaram sua mudança de cor ao longo do tempo. Para o jatobá, amostras naturais perderam uma parte do brilho acromático (L^* no sistema CIEL*a*b* de cores) logo após a aplicação de cada óleo (transparente, teca e bangkirai, os dois últimos pigmentados). Comparativamente, as mudanças de cores das amostras de madeira que receberam óleo transparente, a aplicação de óleo de teca manteve uma estabilidade de cor maior até os doze meses em condições de intemperismo exterior em *H. courbaril*.

O processo de fotodegradação da cor natural superficial da madeira de duas espécies tropicais, quando submetidas à radiação artificial ultravioleta por 168 horas, foi acompanhado por Costa et al. (2011). As duas espécies de madeira pesquisadas foram o jatobá (*Hymenaea courbaril*), de coloração marrom-avermelhada, e tauari (*Couratari oblongifolia*), de coloração oliva-amarelada. Observou-se que as madeiras das duas espécies sofreram alterações de cor causadas pela fotodegradação, havendo um escurecimento delas, que foi quantificado pela intensidade da luz refletida. O tauari apresentou-se como a espécie mais resistente à radiação UV e o jatobá apresentou maior tendência para avermelhar-se. Ambas as espécies foram classificadas como madeiras com variação de cor muito apreciável.

A umidade de equilíbrio da madeira pode propiciar melhorias em suas formas de utilização, principalmente em aplicações externas, diminuindo a ocorrência de alterações dimensionais e deformações, como empenamentos, arqueamentos, torções, inchamentos, contrações, entre outros, que normalmente são verificados em madeiras empregadas que não atingiram o equilíbrio higroscópico com o ambiente final de uso. Paulino e Melo (2013) avaliaram as variações e as estimativas da umidade de equilíbrio (UE) das madeiras de angelim pedra (*Dinizia excelsa*), angelim amargoso (*Vatairea guianensis*), jatobá (*Hymenaea courbaril*), marupá (*Simarouba amara*), canelão (*Ocotea velutina*), garapeira (*Apuleia leiocarpa*) e guanandi (*Calophyllum brasiliense*) para as condições climáticas do município de Sinop, MT. Observou-se que no jatobá, cuja umidade inicial foi de 16,5%, houve variação da umidade de equilíbrio de 6,0% em setembro a 14,6% em dezembro e que os modelos de estimativa de umidade de equilíbrio, que mais se adequaram aos dados experimentais foram o Brunauer, Emmet, Teller (BET) e Simpson, ambos em dados agrupados quinzenalmente.

Considerações finais

Pelo estudo realizado, observou-se que o crescimento das duas espécies (*Hymenaea courbaril* e *Hymenaea stigonocarpa*) é lento. A primeira é considerada uma espécie tolerante à sombra, o que permite ser tutorada por plantas que proporcionem um certo sombreamento, contudo, deve-se escolher espécies que não cresçam em excesso para não sufocar o jatobá. A poda das árvores tutoras poderia ajudar para uma maior entrada de luz.

A existência de autocompatibilidade em *Hymenaea stigonocarpa* pode auxiliar no melhoramento dessa espécie por meio de autopolinização(ões) proporcionando homozigose em características favoráveis. O acasalamento entre parentes seria mais viável em *H. courbaril* para esse mesmo objetivo, não descartando esse tipo de cruzamento em *H. stigonocarpa*. Ferramentas para o melhoramento, como enxertia, cultura de tecidos e propagação de estacas e miniestacas de material adulto, além de estudos de biologia molecular, ajudariam a diminuir o ciclo de melhoramento.

As propriedades medicinais e industriais dos constituintes dessas duas espécies poderiam ser mais exploradas pela ciência para a confecção de produtos industrializados, bem como remédios, coagulantes de látex e constituinte de alimentos por meio de sua polpa farinácea, por exemplo. O patenteamento desses produtos, deveria ser realizado simultaneamente. Melhorias na tecnologia da madeira, como secagem, colagem de painéis e, preservativos da madeira, são necessárias para aumentar a longevidade da madeira e manter seu brilho original.

Referências

- ACUÑA, L.; SEPLIARSKY, F.; SPAVENTO, E.; MARTÍNEZ, R. D.; BALMORI, J. A. Modelling of impact falling ball test response on solid and engineered wood flooring of two eucalyptus species. **Forests**, v. 11, n. 9, 19 p., 2020. DOI: 10.3390/f11090933.
- ANDRADE, L. A.; BRUNO, R. L. A.; OLIVEIRA, L. S. B.; SILVA, H. T. F. Aspectos biométricos de frutos e sementes, grau de umidade e superação de dormência de jatobá. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 32, n. 2, p. 293-299, 2010. DOI: 10.4025/actasciagron.v32i2.3681.
- ALVARADO, A.; MORA, A.; CHACÓN-MADRIGAL, E.; VILLALOBOS, J. E.; SANDÍ, C. L. Concentración foliar de macro- y micro-nutrientes en cuatro leguminosas maderables del

trópico estacionalmente seco de Costa Rica. **Revista de Biologia Tropical**, v. 66, n. 3, p. 969-983, 2018.

ANJOS, L.; OLIVA, M. A.; KUKI, K. N. Fluorescence imaging of light acclimation of brazilian atlantic forest tree species. **Photosynthetica**, v. 50, n. 1, p. 95-108, 2012. DOI: 10.1007/s11099-012-0018-6.

AOKI, H.; SOUZA, W. J. M. de. Comportamento do jatobá (*Hymenaea courbaril* var. *stilbocarpa*) consorciado com *Pinus elliottii* var. *elliottii* em condições de arboreto. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. **Trabalhos voluntários**: resumos. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1990. p. 78.

ARSLAN, M.; IMRAN, A.; KHAN, Q. M.; AFZAL, M. Plant-bacteria partnerships for the remediation of persistent organic pollutants. **Environment Science**, v. 24, p. 4322-4336, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4935-3>.

ÁRVORES DO BIOMA CERRADO. *Hymenaea courbaril*. 2017a. Disponível em: <https://www.arvoresdobiomacerrado.com.br/site/2017/04/23/hymenaea-courbaril-l/>. Acesso em: 23 fev. 2023.

ÁRVORES DO BIOMA CERRADO. *Hymenaea courbaril*. 2017b. Disponível em: <https://www.arvoresdobiomacerrado.com.br/site/2017/04/23/hymenaea-stigonocarpa-mart-ex-hayne/>. Acesso em: 29 maio 2023

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-7190**: projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, ABNT, 1997. 107 p. Disponível em: <https://www.totalconstrucao.com.br/wp-content/uploads/2019/12/NBR-7190.pdf>. Acesso em: 23 ago. 2023.

BAAR, J.; GRYC, V. The analysis of tropical wood discoloration caused by simulated Sunlight. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 70, p. 263-269, 2012. DOI: 10.1007/s00107-011-0551-1.

BARROS, T. D. **Silvicultura**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/florestal/silvicultura>. Acesso em: 22 ago. 2023.

BATISTA, F. G.; MELO, R. R.; LEANDRO, C.; MEDEIROS, D. T.; LOPES, P. J. Resistência natural da madeira de seis espécies à *Nasutitermes corniger* Motsch. em condição de campo. **Madera y Bosques**, v. 26, n. 2, 2020. DOI: 10.21829/myb.2020.2622017.

BONA, D. A. O.; KARSBURG, I. V.; GALLO, R. Indução e identificação de poliploidia em *Hymenaea courbaril* L. var. *stilbocarpa* (Hayne) Lee et Lang. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 4, p. 1331-1337, out./dez. 2016.

BONIFACE, P. K.; FERREIRA, S. B.; KAISER, C. R. Current state of knowledge on the traditional uses, phytochemistry, and pharmacology of the genus *Hymenaea*. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 206, p. 193-223, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jep.2017.05.024>.

BORGES, M. P. S.; SILVA, D. V.; SOUZA, M. F.; SILVA, T. S.; TEÓFILO, T. M. S.; SILVA, C. C.; PAVÃO, Q. S.; PASSOS, A. B. R. J.; SANTOS, J. B. Glyphosate effects on tree species natives from Cerrado and Caatinga Brazilian biome: Assessing sensitivity to two ways of contamination. **Science of the Total Environment**, v. 769, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144113>.

- BRAGA, R. S.; PINTO, R. B.; CHAVES, L. J.; DINIZ-FILHO, J. A. F.; SOARES, T. N.; COLLEVATTI, R. G.; TELLES, M. P. C. Hierarchical genetic and spatial structure among varieties and populations of *Hymenaea stigonocarpa* (Fabaceae) in Brazilian savannah. **Tree Genetics & Genomes**, v. 15, n. 84, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11295-019-1398-6>.
- CHAVES, C. L.; DEGEN, B.; PAKULL, B.; MADER, M.; HONORIO, E.; RUAS, P.; TYSKLIND, N.; SEBBENN, A. M. Assessing the ability of chloroplast and nuclear DNA gene markers to verify the geographic origin of jatoba (*Hymenaea courbaril* L.) timber. **Journal of Heredity**, v. 109, n. 5, p. 543-552, 2018. DOI: 10.1093/jhered/esy017.
- CAMPOS, M. V. A.; LEO, N. V. M.; SHIMIZU, E. S. C.; FREITAS, A. D. D. de; FELIPE, S. H. S. Atributos biofísicos de frutos e sementes e emergência de plântulas de jutaí-açú. **Enciclopédia Biosfera**, v. 15, n. 27, p. 124-132, 2018. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/188278/1/atributos-biofisicos.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2023.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira**. Colombo: EMBRAPA-CNPq; Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 1994. 639 p. Disponível em: https://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/temp/index_especies.htm. Acesso em: 06 jun. 2023.
- CARVALHO, P. E. R. **Jatobá-do-Cerrado *Hymenaea stigonocarpa***. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 8 p. (Embrapa Florestas. Circular Técnica, 133).
- CARVALHO, P. E. R. Jatobá: *Hymenanea courbaril* var. *stilbocarpa*. In: CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2003. v. 1, p. 599-607. (Coleção espécies arbóreas brasileiras, v. 1).
- CARVALHO, P. E. R. Jatobá-do-Cerrado: *Hymenaea stigonocarpa*. In: CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2006. p. 299-306. (Coleção Espécies Arbóreas Brasileiras, v. 2).
- CARVALHO, L. G. V.; SANTOS, S. C.; LOURENTE, E. R. P.; TROVATO, V. W.; SANTOS, C. C.; RUI, R. F. Jatobazeiro seedlings associated with arbuscular mycorrhizal fungi. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 44, n. 2, 12 p., 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-29452022006>.
- CAZETTA, T. C.; VIEIRA, E. M. Fire occurrence mediates small-mammal seed removal of native tree species in a neotropical savanna. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 9, 16 p., 2021. DOI: 10.3389/fevo.2021.793947.
- CHAVES, A. C. G.; SANTOS, R. M. S.; SANTOS, J. O.; FERNANDES, A. A.; PATRÍCIO BORGES MARACAJÁ, P. B. A importância dos levantamentos florístico e fitossociológico para a conservação e preservação das florestas. **Revista ACSA**, v. 9, n. 2, p. 42-48, abr./jun., 2013. Disponível em: <http://revistas.ufcg.edu.br/acsa/index.php/ACSA/article/viewFile/449/pdf>. Acesso em: 25 abr. 2023.
- CIPRIANO, J.; MARTINS, L.; DEUS, M. S. M.; PERON, A. P. O gênero *Hymenaea* e suas espécies mais importantes do ponto de vista econômico e medicinal para o Brasil. **Caderno de Pesquisa**, v. 26, n. 2, p. 41-51, 2014. (Série Biologia).
- CORDEIRO, I. M. C. C.; LAMEIRA, O. A. *Hymenaea courbaril*: Jatobá. In: CORADIN, L.; CAMILLO, J.; VIEIRA, I. C. G. (ed.). **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: região Norte**. Brasília, DF: MMA, 2022. p. 1056-1062.

(Série Biodiversidade, 53). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1144679/1/Plantas-para-o-Futuro-Norte-1057-1063.pdf>. Acesso em: 23 set. 2022.

COSME JR., L.; HARO, M. M.; GUEDES, N. M. P.; DELLA LUCIA, T. M. C.; GUEDES, R. N. C. Tropical wood resistance to the West Indian drywood termite *Cryptotermes brevis*: If termites can't chew... **Pest Management Science**, v. 74, n. 4, p. 914-924, 2017. DOI: 10.1002/ps.4785.

COSTA, E.; LOPES, K. G.; BINOTTI, F. F. S.; BINOTTI, E. D. C.; DALASTRA, C. Technologies for jatoba seedling formation. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 1, 8 p., 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.008415>.

COSTA, J. A.; GONÇALEZ, J. C.; CAMARGOS, J. A. A.; IGOR GOMES, I. A. S. Fotodegradação de duas espécies de madeiras tropicais: jatobá (*Hymenaea courbaril*) e tauari (*Couratari oblongifolia*) submetidas à radiação ultravioleta. **Cerne**, v. 17, n. 1, p. 133-139, jan./mar. 2011.

CRESTANA, C. S. M.; DIAS, I. S.; MARIANO, G. Ecologia de polinização de *Hymenaea stilbocarpa* Hayne, o jatobá. **Silvicultura**, v. 19, p. 31-37, 1985.

DUARTE, I. A. E.; MADALENA, J. O. de M.; COSTA, A. M. Desenvolvimento de formulação de pães elaborados frutos do Cerrado (jatobá e maracujá *Passiflora edulis*). In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DOS ALIMENTOS, 10., 2013, Campinas. **Ciência de alimentos: impacto na nutrição e saúde: anais...** Campinas: Unicamp, 2013. p. 764.

DUARTE, M. M.; PAULA, S. R. P.; FERREIRA, F. R. L.; NOGUEIRA, A. C. Morphological characterization of fruit, seed and seedling and germination of *Hymenaea courbaril* L. (Fabaceae) ('Jatobá')1. **Journal of Seed Science**, v. 38 n. 3, p. 204-211, 2016.

FALLER, B. V.; AMORIN, R. S.; OLIVEIRA, I. A.; JARDIM, I. S. Efeito da poda radicular e do hidrogel no crescimento de mudas de jatobá. **Nativa**, v. 8, n. 4, p. 476-483, jul./ago. 2020. DOI: <https://doi.org/10.31413/nativa.v8i4.8370>.

FARIA, G. S.; CARLOS, L.; JAKELAITIS, A.; VASCONCELOS FILHO, S. C.; LOURENÇO, L. L.; COSTA, A. M.; GONÇALVES, I. A. Tolerance of *Hymenaea courbaril* L. to glyphosate. **Ecotoxicology**, v. 31, p. 168-177, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10646-021-02499-y>.

FAVARETTO, V. F.; MARTINEZ, C. A.; HILDA, H.; SORIANI, H. H.; FURRIEL, R. P. M. Differential responses of antioxidant enzymes in pioneer and late-successional tropical tree species grown under sun and shade conditions. **Environmental and Experimental Botany**, v. 70, p. 20-28, 2011.

FERES, J. M.; GUIDUGLI, M. C.; MESTRINER, M. A.; SEBBENN, A. M.; CIAMPI, A. Y.; ALZATE MARIN, A. L. Microsatellite diversity and effective population size in a germplasm bank of *Hymenaea courbaril* var. *stilbocarpa* (Leguminosae), an endangered tropical tree: recommendations for conservation. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 56, p. 797-807, 2009. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/178478/1/SP-19753-ID-31775.pdf>. Acesso em: 9 out. 2022.

FERRAZ, A. V.; ENGEL, V. L. Efeito do tamanho de tubetes na qualidade de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L. var. *stilbocarpa* (Hayne) Lee et Lang.), ipê-amarelo (*Tabebuia chrysostricha* (Mart. ex Dc.) Sandl.) e guarucaia (*Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan). **Revista Árvore**, v. 35, n. 3, p. 413-423, 2011.

FONSECA, J. M. M. A.; AGUIAR, I. B.; FERNANDES, P. D. Comportamento florestal de essências nativas e exóticas em condições de arboreto. **Científica**, v. 2, n. 2, p. 198-207, 1974.

FREIRE, J. M.; VERÍSSIMO, L. N.; PEREIRA, B. R.; ROUWS, J. R. C.; ARTHUR JUNIOR, J. C. Vegetative propagation of *Hymenaea courbaril* L. and *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J. F. Macbr. by mini-cutting. **Revista Árvore**, v. 44, 11 p., 2020: e4405. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1806-908820200000005>.

GANDINI, A. M. M.; SANTOS, J. B.; ANDREZZA, M. M. G.; SANTANA, R. C.; CUNHA, V. C.; SILVA, D. V.; FIORE, R. A. Capacidade competitiva do jatobá com adubos verdes, forrageiras e plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 29, p. 991-999, 2011. Número Especial.

GANDINI, E. M. M.; SANTOS, J. B.; GANDINI, A. M. M.; SANTANNA, R. C.; SILVA, D. V. Selectivity of herbicide and rhizospheric microbial activity on *Hymenaea corbaril* seedlings. **Communications in soil science and plant analysis**, v. 45, n. 17, p. 2235-2246, 2014.

GIBBS, P. E.; OLIVEIRA, P. E.; BIANCHI, M. B. Postzygotic control of selfing in *Hymenaea stigonocarpa* (Leguminosae-Caesalpinioideae), a bat-pollinated tree of the Brazilian cerrados. **International Journal of Plant Sciences**, v. 160, n. 1, p. 72-78, 1999.

GOMES, A. R.; QUISEN, R. C. Estudo da eficiência de métodos de desinfestação sobre a cultura de tecidos de explantes de jatobá. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA AMAZÔNIA OCIDENTAL, 13., 2016, Manaus. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa, 2017. p. 27-28. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/163621/1/XIII-Jornada-IC-27.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2023.

GOMES, R. B.; GARCIA, L. C.; SOUSA, S. G. A. de. Qualidade fisiológica de sementes de jatobá (*Hymenaea courbaril*) armazenadas em diferentes embalagens e condições ambientais. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA AMAZÔNIA OCIDENTAL, 10., 2013, Manaus. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa, 2013. p. 105-114. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/111290/1/X-Jornada-IC-107-116.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2023.

GONÇALVES, F. L. A.; RESENDE, A. S.; LIMA, I. S. S.; CHAER, G. M. Manual crowning versus cardboard in forest restoration: costs and effect on seedling development. **Planta Daninha**, v. 36, 10 p., 2018. DOI: 10.1590/S0100-83582018360100107.

GONZAGA, L. M.; SILVA, S. S.; CAMPOS, S. A.; FERREIRA, R. P.; CAMPOS, A. N. R.; CUNHA, A. C. M. C. M. Evaluation of substrates and AMF sporulation in the production of seedlings of native forest species. **Revista Árvore**, v. 40, n. 2, p. 245-254, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622016000200007>.

GONZAGA, L. M.; SILVA, S. S.; CAMPOS, S. A.; PAULA, R.; SOUZA, V. C. M.; SILVA, A. G.; COSTA, E.; BINOTTI, F. F. S.; VIEIRA, G. A. C. Protected environments and reflective material in the production of *Hymenaea courbaril* seedlings. **Floresta**, v. 52, n. 4, p. 501-510, out./dez. 2022. DOI: 10.5380/ufv52i4.82371.

GRANATO-SOUZA, D.; BARBOSA, A. C. M. C.; CHAVES, H. F. Drivers of growth variability of *Hymenaea stigonocarpa*, a widely distributed tree species in the Brazilian Cerrado. **Dendrochronologia**, v. 53, p. 73-81, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2018.12.001>.

GUARIZ, H. R.; OLIVEIRA, H. C.; SPERANDIO, H. V.; PAULA, J. C. B.; SHIMIZU, G. D.; RIBEIRO JUNIOR, W. A. Germination potential of *Hymenaea courbaril* L. in different maturation stages. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 42, n. 6, suplemento 2, p. 3667-3684, 2021. DOI: 10.5433/1679-0359.2021v42n6Supl2p3667.

GURGEL FILHO, O. do A.; MORAES, J. L.; GARRIDO, L. M. do A. G. Silvicultura de essências indígenas sob povoamentos homóclitos coetâneos experimentais. IV- Jatobá (*Hymenaea stilbocarpa* Hayne). In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, 1982, Campos do Jordão. **Anais...** São Paulo: Instituto Florestal, 1982. p. 857-861. Publicado no *Silvicultura em São Paulo*, v. 16 A, parte 2, 1982.

HOPKINS, M. J. G. **JATOBÁ, *Hymenaea courbaril***. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2004. Não paginado. il. (Projeto Dendrogene. Espécies Arbóreas da Amazônia, 8).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Informações sobre madeiras: Jatobá**. Disponível em: <https://madeiras.ipt.br/jatoba/>. Acesso em: 19 abr. 2023.

INTERNATIONAL TROPICAL TIMBER ORGANIZATION. **Tropical Timber Market (TTM) Report**, v. 27, n. 11, p. 11-13, 2023. Disponível em: https://www.itto.int/files/user/mis/MIS_1-15_Jun2023.pdf. Acesso em: 16 de jun. 2023.

JANKOWSKY, I. P.; CHIMELO, J. P.; CAVANCANTE, A. de A.; GALINA, I. C. M.; NAGAMURA, J. C. S. **Madeiras brasileiras**. Caxias do Sul: Spectrum, 1990. 172 p.

JURACY, A. R. M.; SALIS, S.M.; DAMASCENO JÚNIOR, G. A. **Fitossociologia de um remanescente de floresta estacional decidual na subbacia da Lagoa Negra, Ladário, MS**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2020. 20 p. (Embrapa Pantanal. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 143). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/216445/1/FitossociologiaFlorestaDecidual-2020.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2023.

KELLIAN, K. G. S.; MIZOBATA, C. M. S.; MALTONI, K. L.; FARIA, G. A.; CASSIOLATO, A. M. R. Growth of *Hymenaea stigonocarpa* as a function of the addition of residues in degraded soil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 3, p. 223-229, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n3p223-229>.

LACERDA, A. B.; SEBBENN, A. M.; KANASHIRO, M. Long-pollen movement and deviation of random mating in a low-density continuous population of *Hymenaea courbaril* in the Brazilian Amazon. **Biotropica** v. 40, p. 462-470, 2008. DOI: 10.1111/j.1744-7429.2008.00402.x.

LACERDA, A. E. B. de; SEBBENN, A. M. Ensuring tropical forest sustainability by defining species-specific logging prescriptions: the case of *Hymenaea courbaril*. In: ESA ANNUAL MEETING, 95., 2010, Pittsburgh. **Global warming: contributed oral papers**. Washington, DC: ESA, 2010. Acesso em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/27262/1/Andre.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2023.

LACERDA, K. A. P.; SILVA, M. M. S.; CARNEIRO, M. A. C.; REIS, E. F.; SAGGIN, JÚNIOR O. J. Fungos micorrízicos arbusculares e adubação fosfatada no crescimento inicial de seis espécies arbóreas do Cerrado. **Cerne**, v. 17, n. 3, p. 377-386, jul./set. 2011.

LAHR, F. A. R.; CHRISTOFORO, A. L.; SILVA, C. E. G.; ANDRADE JÚNIOR, J. R.; PINHEIRO, R. V. Avaliação de propriedades físicas e mecânicas de madeiras de jatobá (*Hymenaea stilbocarpa* Hayne) com diferentes teores de umidade e extraídas de regiões distintas. **Revista Árvore**, v. 40, n. 1, p. 147-154, 2016.

LEE, Y. T.; LANGENHEIM, J. H. Additional new taxa and new combinations in *Hymenaea* (Leguminosae, Caesalpinioideae). **Journal of the Arnold Arboretum**, v. 55, n. 3, p. 441-452, 1974. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/pdf/43781948.pdf>. Acesso em: 01 ago. 2022.

LEE, Y. T.; LANGENHEIM, J. H. Systematics of the genus *Hymenaea* L. (Leguminosae; Caesalpinioideae; Detarieae). **University of California Publications in Botany**, v. 69, p. 1-109, 1975.

LEITE, E. J. State-of-knowledge on *Hymenaea courbaril* L. var. *stilbocarpa* (Hayne) Lee and Lang. (Leguminosae: Caesalpinioideae) for genetic conservation in Brazil. **Research Journal of Forestry**, v. 1, n. 1, p. 1-26, 2007. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/178265/1/ID-29236-1.pdf>. Acesso em: 24 set. 2022.

LOCOSSELLI, G. M.; BUCKERIDGE, M. S.; MOREIRA, M. Z.; CECCANTINI, G. A multi-proxy dendroecological analysis of two tropical species (*Hymenaea* spp., Leguminosae) growing in a vegetation mosaic. **Trees**, v. 27, p. 25-36, 2013. DOI: 10.1007/s00468-012-0764-x.

LOCOSSELLI, G. M.; SCHONGART, J.; CECCANTINI, G. Climate/growth relations and teleconnections for a *Hymenaea courbaril* (Leguminosae) population inhabiting the dry forest on karst. **Trees**, v. 30, p. 1127-1136, 2016. DOI: 10.1007/s00468-015-1351-8.

LOCOSSELLI, G. L.; KROTTENTHALER, S.; PITSCH, P.; ANHUF, D.; CECCANTINI, G. Age and growth rate of congeneric tree species (*Hymenaea* spp. - leguminosae) inhabiting different tropical biomes. **Erdkunde**, v. 71, n. 1, p. 45-57, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3112/erdkunde.2017.01.03>.

LOCOSSELLI, G. L.; KROTTENTHALER, S.; PITSCH, P.; ANHUF, D.; CECCANTINI, G. Impact of temperature on the growth of a Neotropical tree species (*Hymenaea courbaril*, Fabaceae) at its southern distribution limit. **International Journal of Biometeorology**, v. 63, p. 1683-1692, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-019-01786-y>.

LÓPEZ, L.; VILLALBA, R.; BRAVO, F. Cumulative diameter growth and biological rotation age for seven tree species in the Cerrado biogeographical province of Bolivia. **Forest Ecology and Management**, v. 292, p. 49-55, 2013.

LUZ, L. M.; ALVES, E. C.; VILHENA, N. Q.; OLIVEIRA, T. B.; SILVA, Z. G. B.; JOZE M. N. FREITAS; J. M. N.; NETO, C. F. O.; COSTA, R. C. L.; LUCAS C. COSTA, L. C. Distinct physiological mechanisms underpin growth and rehydration of *Hymenaea courbaril* and *Hymenaea stigonocarpa* upon short-term exposure to drought stress. **Journal of Forestry Research**, v. 34, p. 113-123, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11676-022-01558-2>.

MACIEIRA, B. P. B.; LOCOSSELLI, G. M.; BUCKERIDGE, M. S.; JARDIM, V. C.; KROTTENTHALER, S.; ANHUF, D.; HELLE, G.; CUZZUOL, G. R. F.; CECCANTINI, G. Will climate change shift carbon allocation and stem hydraulics? Insights on a systemic view of carbon- and water-related wood traits in an anisohydric tropical tree species (*Hymenaea courbaril*, Leguminosae). **Ecological Indicators**, v. 128, 10 p., 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107798>.

MAIA, R. A.; FERNANDES, G. W.; SILVA, A. I. S.; SOUZA, J. P. Improvement in light utilization and shoot growth in *Hymenaea stigonocarpa* under high CO₂ concentration attenuates simulated leaf herbivory effects. **Acta Botanica Brasílica**, v. 33, n. 3, p. 558-571, 2019. DOI: 10.1590/0102-33062019abb0149.

MAMOŇOVÁ, M.; REINPRECHT, L. The impact of natural and artificial weathering on the anatomy of selected tropical hardwoods. **IAWA Journal**, v. 41, n. 3, p. 333-355, 2020.

MARINHO, C. R.; SOUZA, C. D.; BARROS, T. C.; TEIXEIRA, S. P. Scent glands in legume flowers. **Plant Biology**, v. 16, p. 215-226, 2014. DOI: 10.1111/plb.12000.

- MARQUES, D. M.; MAGALHAES, P. C.; SOUZA, T. C. de; SILVA, A. B.; MANTOVANI, J. R. Efeito do cobre na morfologia de *Hymenaea courbaril* L. (Caesalpinioideae). In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 67., 2016, Vitória. **Conectando diversidade, revelando o desconhecido**. Brasília, DF: Sociedade Botânica do Brasil, 2016. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/150969/1/Efeito-cobre.pdf>. Acesso em 12 mar. 2023.
- MARQUES, D. M.; SILVA, A. B.; MANTOVANI, J. R.; PEREIRA, D. S.; SOUZA, T. C. Growth and physiological responses of tree species (*Hymenaea courbaril* L., *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. and *Myroxylon peruiferum* L. F.) exposed to different copper concentrations in the soil. **Revista Árvore**, v. 42, n. 2, 11 p., 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1806-90882018000200002>.
- MARTINOTTO, F.; MARTINOTTO, C.; COELHO, M. F. B.; AZEVEDO, R. A. B.; ALBUQUERQUE, M. C. F. Sobrevivência e crescimento inicial de espécies arbóreas nativas do Cerrado em consórcio com mandioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 1, p. 22-29, jan. 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/pab/a/HLxhbQtRChVGNLFTXRhzWgf/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 12 abr. de 2023.
- MARTINS, B. A. **Avaliação físico-química de frutos do cerrado in natura e processados para a elaboração de multimisturas**. 2006. 61 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Católica de Goiás, Goiânia. Disponível em: <https://tede2.pucgoias.edu.br/bitstream/tede/2556/1/BRUNO%20DE%20ANDRADE%20MARTINS.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2023.
- MARTINS, F. M.; DOMINGUES, M. V. Filogeografia. **Revista da Biologia**, Volume Especial em Biogeografia, p. 26-30, 2011. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/revbiologia/article/download/108652/106984/194133>. Acesso em: 19 maio 2023.
- MARTINS, G. A.; SOARES, A. M.; ALVES, J. P. R.; BARBOSA, D.; MELLO, J. M.; CASTRO, E. M.; FERRAZ JR, A. C. Stomatal density distribution patterns in leaves of the Jatoba' (*Hymenaea courbaril* L.). **Trees**, v. 26, p. 571-579, 2012. DOI: 10.1007/s00468-011-0620-4.
- MARTINS, T. G. V.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; TELLES, L. A. A.; LAGE, M. R.; MENDES, G. G. C.; PINTO, D. L.; CASTRO, N. L. M.; LORENZON, A. S.; SILVA, R. S.; GONZÁLES, D. G. E. Potential planting areas for native tree species in Minas Gerais state, Brazil, based on environmental variables and wood demand. **Ecological Modelling**, v. 432, 13 p., 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.109211>.
- MELO, N. M. J.; ROSA, R. S. E. G.; PEREIRA, E. G.; SOUZA, J. P. Rising [CO₂] changes competition relationships between native woody and alien herbaceous Cerrado species. **Functional Plant Biology**, v. 45, n. 8, p. 854-864, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1071/FP17333>.
- MENDES, G. G. C.; SANTOS, G. A.; XAVIER, A.; MARTINS, S. V.; SOUZA, G. A.; MARTINS, T. G. V.; REIS NETO, R. F. Grafting efficiency in Brazilian native tree species. **Scientia Forestalis**, v. 49, n. 132, 9 p. 2021, e3687. DOI: <https://doi.org/10.18671/scifor.v49n132.04>.
- MORAES, M. A.; KUBOTA, T. Y. K.; SILVA, E. C. B.; SILVA, A. M.; CAMBUIM, J.; MORAES, M. L. T.; FURLANI JUNIOR, E.; SEBBENN, A. M. Mendelian inheritance, linkage, and genotypic disequilibrium in microsatellite loci of *Hymenaea stigonocarpa* Mart. ex Hayne (Fabaceae-Caesalpinioideae). **Genetics and Molecular Research**, v. 15, n. 3, p. 1-8, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.4238/gmr.15038629>.
- MORAES, M. L. T.; KAGEYAMA, P. Y.; SEBBENN, A. M. Sistema de reprodução em pequenas populações fragmentadas e em árvores isoladas de *Hymenaea stigonocarpa*. **Scientia Forestalis**, v. 74, p. 75-86, 2007.

MORAES, M. L. T.; SEBBENN, A. M. Pollen Dispersal between Isolated Trees in the Brazilian Savannah: a Case Study of the Neotropical Tree *Hymenaea stigonocarpa*. **Biotropica**, v. 43, p. 192-199, 2011. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1744-7429.2010.00679.x>. Acesso em: 10 abr. 2023.

MORENO, M. A.; BOSCHER, D.; TARAZI, R.; TAMBARUSSI, E. V.; AGUIAR, B. I.; FERRAZ, E. M.; KAGEYAMA, P. Y.; SEBBENN, A. M. Long distance pollen dispersal and intrapopulation genetic structure determined by clonal diversity in *Hymenaea stigonocarpa* populations of the Brazilian savanna. **Trees**, v. 36, p. 471-484, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00468-021-02222-8>.

NASCIMENTO, H. H. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; SILVA, E. C. S.; SILVA, M. A. Análise do crescimento de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) em diferentes níveis de água no solo. **Revista Árvore**, v. 35, n. 3, Edição Especial, p. 617-626, 2011.

NASCIMENTO, H. H. C.; PACHECO, C. M.; LIMA, D. R. M.; SILVA, E. C. S.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Aspectos ecofisiológicos de mudas de *Hymenaea courbaril* L. em resposta a supressão de N, P e K. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 103, p. 315-328, set. 2014.

NASCIMENTO, H. H. C.; SANTOS, C. A.; FREIRE, C. S.; SILVA, M. A.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Ajustamento osmótico em mudas de jatobá submetidas à salinidade em meio hidropônico. **Revista Árvore**, v. 39, n. 4, p. 641-653, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622015000400006>.

NOGUEIRA, J. C. B. **Reflorestamento heterogêneo com essências indígenas**. São Paulo: Instituto Florestal, 1977. 71 p. (Intituo Florestal. Boletim Técnico, 24).

NOVEMBRE, A. D. L. C.; FARIA, T. C.; PINTO, D. H. V.; CHAMMA, H. M. C. P. Teste de germinação de sementes de sansão-do-campo (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth. Fabaceae-Mimosoideae). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, n. 3, p. 47-51, 2007.

NUTRIÇÃO DE PLANTAS CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Nutri-Fatos**: cobre. Disponível em: [https://www.npct.com.br/publication/nutrifacts-brasil.nsf/book/NUTRIFACTS-BRASIL-10/\\$FILE/NutriFacts-BRASIL-10.pdf](https://www.npct.com.br/publication/nutrifacts-brasil.nsf/book/NUTRIFACTS-BRASIL-10/$FILE/NutriFacts-BRASIL-10.pdf). Acesso em: 21 ago. 2023.

OLIVEIRA, M. C.; OGATA, R. S.; ANDRADE, G. A. de; SANTOS, D. S.; SOUZA, R. M.; GUIMARÃES, T. G.; SILVA JÚNIOR, M. C.; PEREIRA, D. J. S.; RIBEIRO, J. F. **Manual de viveiro e produção de mudas**: espécies arbóreas nativas do Cerrado. 1. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Universidade de Brasília: Rede de Sementes do Cerrado, 2016. 124 p.

OLIVEIRA, W. L.; MEDEIROS, M. B.; MOSER, P.; PINHEIRO, R.; OLSEN, L. B. Regeneração e estrutura populacional de jatobá-da-mata (*Hymenaea courbaril* L.), em dois fragmentos com diferentes graus de perturbação antrópica. **Acta Botanica Brasilica**, v. 25, n. 4, p. 876-884, 2011.

OTTONELLI, D. A.; ISANE, B.; KARSBURG, V.; GALLO, R. Indução e identificação de poliploidia em *Hymenaea courbaril* L. var. *stilbocarpa* (Hayne) Lee et Lang. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 4, p. 1331-1337, out./dez., 2016.

PÁNEK, M.; REINPRECHT, L. Effect of vegetable oils on the colour stability of four tropical woods during natural and artificial weathering. **Journal of Wood Science**, v. 62, p. 74-84, 2016. DOI: 10.1007/s10086-015-1519-2.

- PAULINO, J.; MELO, R. R. Sazonalidade e estimativas da umidade de equilíbrio de madeiras amazônicas em Sinop, Estado do Mato Grosso. Seasonality and estimates of the equilibrium moisture content of Amazonian woods in Sinop, Mato Grosso state, Brazil. **Scientia Forestalis**, v. 41, n. 100, p. 457-468, dez. 2013.
- PEDRONI, F.; GALETTI, M. Os macacos-prego e seus hábitos. In: MORELLATO, P.C.; LEITÃO FILHO, H.F. (Org.). **Ecologia e preservação de uma floresta tropical urbana: Reserva de Santa Genebra**. Campinas: Ed. da Unicamp, 1995. p. 97-99.
- PEDROSO-DE-MORAES, C.; THIAGO DE SOUZA-LEAL, T.; PAULO SILVEIRA, P. Morfobiometria carpo-seminal, superação de dormência e tratamentos pré-germinativos com GA3 em *Hymenaea courbaril* L. (Fabaceae). **Iheringia**, Série Botânica, Porto Alegre, v. 73, n. 3, p. 221-227, 2018.
- PEIXOTO, P. H. P.; PIMENTA, M. R.; REIS, L. B. Fisiologia vegetal: uma abordagem prática em multimídia. Manual do aluno. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora/FAPEMIG, 2018. 88 f. Disponível em: <https://www.ufjf.br/fisiologiavegetal/files/2018/07/Manual-de-Aulas-Pr%C3%A1ticas-Fisiologia-Vegetal.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2023.
- PEREIRA, D. P.; MOREIRA, E. F. A.; MACHADO, E. R.; MARIANO, T. S.; CUNHA, F. R. Indolbutiric acid responses on rooting and survival of *Hymenaea courbaril* L. cuttings. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, v. 10, n. 2, p. 111-117, 2017. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/repaa/article/view/4681/3489>. Acesso em: 20 jan. 2023.
- PEREIRA, L. C. S. M. **Estudos genéticos de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) em área natural e restauração florestal com espécies nativas**. 2017. 83 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-21032018-130558/publico/Lya_Carolina_da_Silva_Mariano_Pereira_versao_revisada.pdf. Acesso em: 28 fev. 2023.
- PEREIRA, L. C. S. M.; TAMBARUSSI, E. V.; BILIATI, M. O.; MARTINS, K.; KAGEYAMA, P. Y.; SEBBENN, A. M. Inbreeding depression from selfing and mating among relatives of *Hymenaea courbaril* L. **Forest Ecology and Management**, v. 475, 8 p., 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118414>.
- PIEREZAN, L.; SCALON, S. P. Q.; PEREIRA, Z. V. P. Crescimento de mudas de jatobá com uso de bioestimulante e sombreamento. **Cerne**, v. 18, n. 1, p. 127-133, jan./mar. 2012. Disponível em: http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/14186/1/ARTIGO_Crescimento%20de%20mudas%20de%20jatob%c3%a1%20com%20uso%20de%20bioestimulante%20e%20sombreamento.pdf Acesso em: 03 abr. 2023.
- PINTO, R. B.; TOZZI, A. M. G. A.; MANSANO, V. F. *Hymenaea*. In: FLORA e Funga do Brasil. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2023a. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB22972>. Acesso em: 22 fev. 2023.
- PINTO, R. B.; TOZZI, A. M. G. A.; MANSANO, V. F. *Hymenaea*. In: FLORA e Funga do Brasil. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2023b. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB83206>. Acesso em: 22 fev. 2023.
- PIRES, A. C. V.; PEREIRA, S. R.; FERNANDES, G. W.; OKI, Y. Efeito de *Brachiaria decumbens* na herbivoria e no desenvolvimento de duas leguminosas nativas de cerrado. **Planta Daninha**, v. 30, n. 4, p. 737-746, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pd/a/GTBwNtgdWznCX9s5bBh6prS/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 27 abr. 2023.

PORTES, M. T.; DAMINELLI, D. S. C.; RIBEIRO, R. V.; MONTEIRO, J. A. F.; SOUZA, G. M. Evidence of higher photosynthetic plasticity in the early successional *Guazuma ulmifolia* Lam. compared to the late successional *Hymenaea courbaril* L. grown in contrasting light environments. **Brazilian Journal of Biology**, v. 70, n. 1, p. 75-83, 2010.

PRADO, M. J. **Parâmetros hidráulicos e fotossintéticos de espécie lenhosa do cerrado mato-grossense**. 2019. 55 f. Tese (Doutorado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

RAMOS, A. C. S.; LEMOS-FILHO, J. P.; LOVATO, M. B. Phylogeographical structure of the neotropical forest tree *Hymenaea courbaril* (Leguminosae: Caesalpinioideae) and its relationship with the vicariant *Hymenaea stigonocarpa* from Cerrado. **Journal of Heredity**, v. 100, n. 2, p. 206-216, 2009. DOI: 10.1093/jhered/esn092.

RAMOS, M.; ALBUQUERQUE, P.; RÊGO, M. Nesting Behavior of *Centris (Hemisiella) vittata* Lepageletier (Hymenoptera: Apidae) in an Area of the Cerrado in the Northeast of the the State of Maranhão, Brazil. **Neotropical Entomology**, v. 39, n. 3, p. 379-383, 2010.

RESENDE-MOREIRA, L. C.; RAMOS, A. C. S.; SCLIAR, M. O.; SILVA, R. M.; AZEVEDO, V. C. R.; CIAMPI, A. Y.; LEMOS-FILHO, J. P.; LOVATO, M. B. Gene flow between vicariant tree species: insights into savanna-forest evolutionary relationships. **Tree Genetics and Genomes**, v. 13, n. 36, 15 p., 2017. DOI: 10.1007/s11295-017-1117-0.

RIBEIRO, R. B. S.; GAMA, J. R. V.; MELO, L. O. Seccionamento para cubagem e escolha de equações de volume para a floresta nacional do tapajós. **Cerne**, v. 20, n. 4, p. 605-612, 2014.

ROCHA, A. F. S.; VITORINO, L. C.; BESSA, L. A.; COSTA, R. R. G. F.; BRASIL, M. S.; SOUCHIE, E. L. Soil parameters affect the functional diversity of the symbiotic microbiota of *Hymenaea courbaril* L., a Neotropical fruit tree. **Rhizosphere**, v. 16, 2020, 100237. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2020.100237>.

ROCHA, V.D.; TIAGO, P. V.; TIAGO, A.V.; PEDRI, E.C.M.; CARDOSO, E. S.; ROSSI, A. A. B. Genetic diversity among *Hymenaea courbaril* L. genotypes naturally occurring in the north of Mato Grosso State, Brazil. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 3, 9 p., 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.4238/gmr16039706>.

SALIS, S. M.; MATTOS, P. P. Biomass of *Hymenaea stigonocarpa*, a large tree species from the Brazilian savanna. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 39, p. 535, 2019, e201902043. Edição especial dos resumos do IUFRO World Congress, 25., 2019, Curitiba.

SANCHES, C. F.; COSTA, E.; COSTA, G. G. S. D.; BINOTTI, F. F. S.; CARDOSO, E. D. *Hymenaea courbaril* seedlings in protected environments and substrates. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**, v. 37, n. 1, p. 24-34, jan./fev. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v37n1p24-34/2017>.

SANTOS, H. P. dos; BARONI, A. M.; AIDAR, M. P. M.; BUCKERIDGE, M. S. Metabolismo de carbono durante o estabelecimento de plântulas arbóreas: uma abordagem ecofisiológica em jatobá e pau-brasil. In: NOGUEIRA, R. J. M. C.; ARAÚJO, E; de L.; WILLADINO, L. G.; CAVALCANTE, U. M. T. (ed.). **Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas**. Recife: UFRPE, 2005. p. 192-203. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/543745/1/110392005p.192203.pdf>. Acesso em: 02 jan. 2023.

SANTOS, L. C. F.; COSTA, E.; PAULO A. M.; LEAL, P. A. M.; NARDELLI, E. M. V.; SOUZA, G. S. A. Ambientes protegidos e substratos com doses de composto orgânico comercial e solo na

formação de mudas de jatobazeiro em Aquidauana – MS. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 2, p. 249-259, mar./abr. 2011.

SANTOS, N. M. C.; COSTA, V. A. M.; ARAÚJO, F. V.; ALENCAR, B. T. B.; RIBEIRO, V. H. V.; OKUMURA, F.; SIMEONE, M. L. F.; SANTOS, J. B. Phytoremediation of Brazilian tree species in soils contaminated by herbicides. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, p. 27561-27568, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2798-0>.

SANTOS, T. A.; RESENDE, A. S.; SILVA, F. F.; MORAES, L. F. D.; CHAER, G. M. Growth of tree species in coexistence with palisade grass *Urochloa brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf cv. marandu. **Planta Daninha**, v. 37, 2019, e019178812. DOI: 10.1590/S0100-83582019370100113.

SCALOPPI, J. C.; SOUZA, A. L. T. Simultaneous effects of reintroduction strategy and seed size on the initial development of two tropical tree species in an abandoned eucalyptus plantation. **Australian Journal of Botany**, v. 68, n. 6, p. 439-448, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1071/BT20093>.

SHANLEY, P.; SHULZE, M. Jatobá – *Hymenaea courbaril* L. In: SHANLEY, P.; MEDINA, G. (ed.). **Frutíferas e plantas úteis na vida amazônica**. Belém: CIFOR, 2005. 300 p. il. p. 109-117.

SILVA, J. A.; LEITE, E. J.; ARMANDO, M. S.; SALOMAO, A. N.; REZENDE, J. M. de. Caracterização florística, fitossociológica e regeneração natural do sub-bosque da reserva genética florestal Tamanduá, DF. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 1, p. 121-132, jun. 2004.

SILVA, L. C. A.; SANTOS, G. C.; PEREIRA, I. M.; SILVA, M. A. P.; OLIVEIRA, M. L. R.; MIRANDA TITON, M. Strategies to transplant Fabaceae species from natural regeneration. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 16, n. 1, 6 p., 2021. DOI: 10.5039/agraria.v16i1a7897.

SILVA, M. A.; PACHECO, C. M.; SILVA, C. A.; NASCIMENTO, H. H. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Mecanismos de tolerância em plantas de *Hymenaea courbaril* L. e *Jatropha curcas* L. em resposta ao déficit hídrico e contaminação por derivados de petróleo. **Revista Árvore**, v. 41, n. 2, 2017, e410205. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1806-90882017000200005>.

SILVA JUNIOR, M. C.; SANTOS, G. C.; NOGUEIRA, P. E.; MUNHOZ, C. B. R.; RAMOS, A. E. **100 árvores do Cerrado**: guia de campo. Brasília, DF: Rede de Sementes do Cerrado, 2005. 287 p.

SILVA, P. O.; CARLOS, L.; MENEZES-SILVA, P. E.; COSTA, A. M.; RODRIGUES, C. R.; LORAM-LOURENÇO, L.; DIAS, J. S. Morphophysiological and nutritional behavior of *Hymenaea stigonocarpa* Mart. ex Hayne (Fabaceae) seedlings submitted to liming. **Revista Árvore**, v. 43, n. 3, 9 p., 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1806-90882019000300005>.

SILVA, P. O.; MENEZES-SILVA, L. C. P. E.; COSTA, A. M.; BARBOSA, K. P. Physiological and morphological behavior of *Hymenaea stigonocarpa* seedlings submitted to phosphorus. **Floresta e Ambiente**, v. 27, n. 1, 9 p., 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.093317>.

SILVA, R. R. P.; OLIVEIRA, D. R.; ROCHA, G. P. E.; DANIEL L. M. VIEIRA, D. L. M. Direct seeding of Brazilian savanna trees: effects of plant cover and fertilization on seedling establishment and growth. **Restoration Ecology**, v. 23, n. 4, p. 393-401, 2015.

SMIDERLE, O. J.; SOUZA, A. G. Do scarification and seed soaking periods promote maximum vigor in seedlings of *Hymenaea courbaril*? **Journal of Seed Science**, v. 43, 8 p., 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v43254481>.

SMIDERLE, O. J.; SOUZA, A. G.; MAIA, S. S.; REIS, N. D.; COSTA, J. S.; GABRIEL SOUZA PEREIRA, G. S. Do stimulate® and acadian® promote increased growth and physiological indices of *Hymenaea courbaril* seedlings? **Revista Brasileira de Fruticultura**, 2022, v. 44, n. 2, 10 p. 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-29452022872>.

SMIDERLE, O. J.; SOUZA, A. G. Scarification and doses of Acadian®, Stimulate® and *Trichoderma* spp. promote dormancy overcoming in *Hymenaea courbaril* L. seeds? **Journal of Seed Science**, v. 44, 11 p., 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/2317-1545v44250043>.

SOUSA, D. C. V.; BESSA, L. A.; FABIANO GUIMARÃES SILVA, F. G.; ROSA, M.; VASCONCELOS FILHO, S. C.; VITORINO, L. C. Morpho-anatomical and physiological responses can predict the ideal period for the transplantation of hydroponic seedlings of *Hymenaea courbaril*, a neotropical fruit tree. **Plants**, v. 9, n. 721, 19 p., 2020. DOI: 10.3390/plants9060721.

SOUSA, J. B. S. de; SOARES, M. H. M.; PEREIRA, L. G.; PEREIRA, N. C.; RUSCHEL, A. R. Estabelecimento inicial de *Hymenaea courbaril* L. e *Parkia multijuga* Benth em um trecho de mata ciliar no município de Terra Alta, PA. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL, 23., 2019, Belém, PA. **Anais...** Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2019. p. 228-234.

SOUZA, I. M.; FUNCH, L. S.; QUEIROZ, L. P. Flora da Bahia: Leguminosae – *Hymenaea* (Caesalpinioideae: Detarieae). **Sitientibus série Ciências Biológicas**, v. 16, 18 p., 2016. DOI: 10.13102/scb1092.

SOUZA, J. P.; MELO, N. M. J.; PEREIRA, E. G.; HALFELD, A. D.; GOMES, I. N.; PRADO, C. H. B. A. Responses of woody Cerrado species to rising atmospheric CO₂ concentration and water stress: gains and losses. **Functional Plant Biology**, v. 43, n. 12, p. 1183-1193, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1071/FP16138>.

SOUZA, L. A. de; LIMA, R. M. B. de. Métodos para produção de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* Linnaeus) e colubrina (*Colubrina glandulosa* Perk) em condições de viveiro na Amazônia. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 64., São Luís, 2012. **Ciência, cultura e saberes tradicionais para enfrentar a pobreza**. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/75600/1/64-Reuniao-Anual-da-SBPC-roberval-2.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2022.

SOUZA, L. C.; LUZ, L. M.; MARTINS, J. T. S.; OLIVEIRA NETO, C. F.; PALHETA, J. G.; OLIVEIRA, T. B.; ALVES, E. C.; ALMEIDA, R. F.; OLIVEIRA, R. L. L.; COSTA, R. C. L.; VILHENA, N. Q. Osmoregulators in *Hymenaea courbaril* and *Hymenaea stigonocarpa* under water stress and rehydration. **Journal of Forest Research**, v. 29, n. 6, p. 1475-1479, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11676-017-0456-x>.

TONINI, H.; ARCO-VERDE, M. F. **O jatobá (*Hymenaea courbaril* L.): crescimento, potencialidades e usos**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2003. 36 p. (Embrapa Roraima, Documentos, 03). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/195470/1/doc03-jatoba-helio.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2022.

VALVERDE, J. C.; ARIAS, D.; CASTILLO, M.; TORRES, D. Relación de la variabilidad climática con el crecimiento diamétrico de ocho espécies arbóreas de bosque seco en Costa Rica. **Ecosistemas**, v. 30. n. 1, 11 p., 2021. DOI: <https://doi.org/10.7818/ECOS.2092>.

VITORINO, L. C.; ROCHA, A. F. S.; BESSA, L. A.; L. L. LOURENÇO; COSTA, A. C.; SILVA, F. G.; Symbiotic microorganisms affect the resilience of *Hymenaea courbaril* L., a neotropical fruit tree, to water restriction. **Plant Stress**, v. 5, 13 p., 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.stress.2022.100092>.

WENDLING, I. Propagação vegetativa. In: SEMANA DO ESTUDANTE UNIVERSITÁRIO, 1., 2003, Colombo. **Florestas e meio ambiente**: palestras. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 1 CD-ROM. (Embrapa Florestas. Documentos, 88). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/50925/1/Wendling.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2023.

WILSON, I. D.; NEILL, S. J.; HANCOCK, J. T. Nitric oxide synthesis and signalling in plants. **Plant, Cell & Environment**, v. 31, p. 622-631, 2008. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1365-3040.2007.01761.x>. Acesso em: 23 ago. 2023.

WOLFE, B. T. Retention of stored water enables tropical tree saplings to survive extreme drought conditions. **Tree Physiology**, v. 37, p. 469-480, 2017. DOI: 10.1093/treephys/tpx001.

ZERLIN, J. K.; CENTENO, D. C.; GASPAR, M. Exogenous nitric oxide-induced germination associated with pinitol content in *Hymenaea courbaril* low vigour seeds. **Brazilian Journal of Botany**, v. 39, n. 2, p. 485-494, 2016. DOI: 10.1007/s40415-016-0265-z.

ZUBA JUNIOR, G. R.; SAMPAIO, R. A.; PEREIRA, C. M.; PRATES, F. B. S.; FERNANDES, L. A.; ALVARENGA, I. C. A. Crescimento do jatobá e de leguminosas arbóreas em diferentes espaçamentos, em área degradada. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 4, p. 63-68, out./dez. 2010.

Embrapa

Cerrados

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA E
PECUÁRIA

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
UNIÃO E RECONSTRUÇÃO

CGPE 018460