



INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA – INPA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BOTÂNICA

**Efeito do fogo induzido na germinação de *Astrocaryum jauari* (Mart.) em
cenários de mudanças climáticas**

AURÉLIA BENTES FERREIRA

MANAUS, AMAZONAS

FEVEREIRO, 2023

AURÉLIA BENTES FERREIRA

Efeito do fogo induzido na germinação de *Astrocaryum jauari* (Mart.) em cenários de mudanças climáticas

Orientadora: Dra. Flávia Machado Durgante

Coorientadoras: Dra. Maria Teresa Fernandez Piedade

Dra. Aline Lopes

Dissertação apresentada à Coordenação do Programa Integrado de Pós-Graduação em Botânica do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Biológicas, área de concentração em Botânica.

MANAUS, AMAZONAS

FEVEREIRO, 2023

Catalogação na Publicação (CIP-Brasil)

F383e Ferreira, Aurélia Bentes

Efeito do fogo induzido na germinação de *Astrocaryum jauari* (Mart.) em cenários de mudanças climáticas / Aurélia Bentes Ferreira; Orientadora Flávia Machado Durgante; coorientadoras Maria Teresa Fernandez Piedade; Aline Lopes. - Manaus:[s. 1.], 2023.

501 KB

51p. : il. color.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Botânica.) - Coordenação do Programa de Pós-Graduação, INPA, 2023.

1. *Astrocaryum jauari*. 2. Mudanças climáticas. I. Durgante, Flávia Machado . II. Piedade, Maria Teresa Fernandez . III. Lopes, Aline. IV. Título.

CDD 580.4

Sinopse:

Através de um tratamento simulando o fogo de superfície, avaliamos a germinação de sementes da palmeira *Astrocaryum jauari* após a passagem do fogo, o experimento de germinação foi avaliado em casa de vegetação e em quatro cenários climáticos em microcosmos, ambientes controlados que simulam as condições climáticas previstas pelo 4º Relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC 2007).

Palavras-chave: Mudanças no clima, Amazônia, Floresta de igapó, Fogo de superfície.



DIVISÃO DOS
CURSOS DE
PÓS-GRADUAÇÃO



AULA DE QUALIFICAÇÃO

PARECER

Aluna: Aurélio Bentes Ferreira
Curso: BOTÂNICA
Nível: Mestrado
Orientadora: Dra. Flávia Machado Durgante Coorientadoras: Dra. Maria Teresa F. Piedade e Dra. Aline Lopes

Título

“Germinação de sementes de *Astrocaryum jauari* Mart. após fogo e regeneração de plântulas em cenários de mudanças climáticas”

BANCA JULGADORA

TITULARES:

GEÁNGELO PETENE CALVI
MARIA ANÁLIA DUARTE DE SOUZA
SIDNEY ALBERTO DO NASCIMENTO FERREIRA

SUPLENTE:

CRISTIANE KRUG
MARCOS MELO CORREIA

EXAMINADORES	PARECER	ASSINATURA
GEÁNGELO PETENE CALVI	(A) Aprovado () Reprovado	
MARIA ANÁLIA DUARTE DE SOUZA	() Aprovado () Reprovado	
SIDNEY ALBERTO DO NASCIMENTO FERREIRA	(X) Aprovado () Reprovado	
CRISTIANE KRUG	() Aprovado () Reprovado	
MARCOS MELO CORREIA	(*) Aprovado () Reprovado	

Manaus (AM), 13 de março de 2020.

OBS: *A aluna deve considerar que as condições do ambiente experimental, particularmente do solo, podem ter afetado a interpretação dos resultados, que não condizem com o cenário de mudanças climáticas. Na grad, recomendo a reavaliação dos dados na metodologia.*

Dra. Flávia Machado Durgante
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Botânica
INPA - Manaus - AM

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DO INPA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BOTÂNICA
Av. André Araújo, 2906 - Bairro: Aleixo - Caixa Postal 2225 - CEP: 69080-971 - Manaus/AM
Fone/Fax: (+55) 92 3843-3119

site: <http://pg.inpa.gov.br> e-mail: cpbotanica@inpa.gov.br



DIVISÃO DO CURSO
DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM BOTÂNICA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA,
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES

ATA DE DEFESA PÚBLICA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
BIOLÓGICAS (BOTÂNICA) DO INSTITUTO NACIONAL DE
PESQUISAS DA AMAZÔNIA

No dia treze de outubro de dois mil e vinte e dois, às nove horas, (horário de Manaus-AM), a discente **Aurélia Bentes Ferreira**, sob orientação da Dra. **Flávia Machado Durgante**, e Co Orientação da Dra. **Maria Teresa Fernandez Piedade**, e a Dra. **Aline Lopes**, defendeu publicamente sua Dissertação de Mestrado intitulada: **"Efeito do fogo induzido na germinação de diásporos de *Astrocaryum jauari* (Mart.) em cenários de mudanças climáticas"**. A defesa foi presidida pela orientadora. Após a exposição pública do trabalho, a discente foi arguida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, que emitiram seus pareceres conforme indicado abaixo:

Examinador	Parecer	Assinatura
Dra. Ires Paula de A. Miranda -(INPA)	<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado <input type="checkbox"/> Reprovado	
Dr. Sidney A. do Nascimento Ferreira -(INPA)	<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado <input type="checkbox"/> Reprovado	
Dr. Adriano Costa Quaresma - (INPA)	<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado <input type="checkbox"/> Reprovado	
Dr. Marcos Melo Corrêa - (INPA)	<input type="checkbox"/> Aprovado <input type="checkbox"/> Reprovado	
Dr. Geângelo Petene Calvi - (INPA)	<input type="checkbox"/> Aprovado <input type="checkbox"/> Reprovado	

Manaus (AM), 13-10-2022

OBS:

Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que foi aprovada e assinada pelos membros da Comissão Examinadora, pelo orientador e pela Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Botânica do INPA.

Flávia Machado Durgante
Orientadora

Coordenador PPGBOT-INPA

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA e à Coordenação do Curso de Botânica pela infraestrutura.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela concessão da bolsa.

Ao grupo MAUA pelo apoio logístico, financeiro e estrutural para realização deste projeto.

À Dr^a Flávia Machado Durgante, por ter aceitado me orientar e pelos valiosos ensinamentos.

À Dr^a Maria Teresa Fernandez Piedade, por estar sempre disponível para discussões que só aperfeiçoaram o trabalho, pela preciosa orientação e compreensão nos momentos difíceis.

À Dr^a Aline Lopes, serei sempre grata pela orientação, pela oportunidade e pelos ensinamentos.

Ao Dr. Sidney Ferreira, por todos os ensinamentos compartilhados sem hesitar, um grande exemplo de dedicação, deixo expressas aqui minha admiração e gratidão.

Aos amigos do grupo MAUA/INPA, Gilvan, Elizabeth, Viviane, Bianca, Layon, Adriano, Gisele, Gildo, Yuri, Geise e Gabriel, obrigada pelas conversas e sugestões para melhoria do projeto, pela ajuda no trabalho de campo e no laboratório e pelos momentos de descontração no horário do almoço, cada um deles foi especial, e serei eternamente grata pela amizade e incentivo.

Aos colegas da turma do PPG-Botânica pelos momentos de imensa alegria, a troca de conhecimento com cada um de vocês foi maravilhosa, quero agradecer a todos, em especial Natalia e Alexandra, obrigada por todos os momentos felizes compartilhados e também pelo apoio nos momentos difíceis, vocês tornaram meus dias mais suaves.

Aos meus amigos, agradeço por fazerem parte da minha vida, Elizabeth, Jéssica, Gilvan, Viviane, Ivone, Natalia, Dandara e Valdir, mesmo distantes e diante das circunstâncias que a vida nos impõe, se fizeram presentes dividindo ensinamentos, momentos de tristeza, desespero e alegria. Nos momentos em que faltaram palavras, só o ouvir foi de grande ajuda.

Ao corpo técnico do MAUA, que fez e faz o trabalho técnico que torna a pesquisa possível, Valdeney, Celso, Mário, Wallace e Elizabeth, grata pela ajuda na montagem do experimento e pelo auxílio na coleta de dados em um período de extrema incerteza e temores, seu apoio foi essencial para que esse trabalho fosse realizado.

Ao Kleuto pela ajuda na árdua tarefa da coleta dos diásporos de jauari.

À equipe de apoio nos microcosmos do LEEM, Danilo e Rodrigo.

À secretaria da botânica, em especial a Neide, que em todos os momentos que precisei sempre fui bem recebida, obrigada pela atenção e por facilitar a vida dos alunos.

Aos meus pais, irmãs e irmãos que torcem por mim. Aos meus pais de coração, com eles aprendi que o amor não precisa de DNA.

À minha querida e muito amada família, ao meu esposo Newton e meus filhos Fernanda e Fernando, a minha fonte de inspiração e força para melhorar a cada dia e enfrentar as adversidades sejam quais forem.

Ao Pai criador, por ter me concedido a oportunidade de mais uma vitória.

Muito obrigada!

RESUMO

A palmeira *Astrocaryum jauari* Mart. (jauari) possui adaptações que lhe permitem sobreviver nos ambientes amazônicos alagáveis, sendo encontrada com alta abundância em áreas de igapó com histórico de desmatamento e/ou fogo. Com o objetivo de elucidar a ecologia germinativa e o estabelecimento inicial da espécie, diásporos de jauari foram coletados na fase terrestre em três áreas na Amazônia Central e foi realizado um experimento de fogo. Para o experimento os diásporos foram enterrados a 1 cm de profundidade no solo e recobertos com serrapilheira, sendo submetidos a queima controlada por 4 minutos, a germinação foi avaliada em casa de vegetação e em microcosmos, simulando o clima atual e em quatro cenários climáticos previstos pelo IPCC 2007. O experimento foi analisado em esquema bifatorial com o fator 1 contendo diásporos sem exposição ao fogo (controle) e diásporos expostos ao fogo, com seis repetições de 25 diásporos em cada ambiente totalizando 1.500 diásporos no experimento e o fator 2 com cinco cenários climáticos. A casa de vegetação mantém as condições climáticas atuais da cidade de Manaus, com sombreamento de 75%, e no microcosmo os quatro cenários climáticos previstos pelo IPCC 2007, a partir da temperatura e CO₂ da sala 1- controle que representa as condições atuais as demais salas foram acrescidas automaticamente nas seguintes proporções: sala 2 (2,5°C; 200 ppm-brando), sala 3 (4,5°C; 400 ppm-intermediário) e sala 4 (4,5°C; 850 ppm-extremo). A germinação foi monitorada a cada 3 dias por 306 dias. O tratamento de fogo afetou positivamente a germinação em todos os ambientes testados. O cenário extremo exerceu uma influência positiva tanto no tratamento de fogo como no controle com a porcentagem e a velocidade de germinação em torno de 75% e 0.8 respectivamente. Na casa de vegetação e nos cenários Controle, Brando e Intermediário não houve diferença significativa na porcentagem de germinação. O tempo médio de germinação dos diásporos que passaram pelo fogo foi de 50 dias e dos diásporos que não passaram pelo fogo foi de 250 dias.

Pode-se concluir que o fogo induziu a quebra de dormência dos diásporos. Quando estes foram expostos ao cenário extremo a porcentagem de germinação de *A. jauari* alcançou cerca de 75%, possivelmente pela aceleração do metabolismo sob essas condições simuladas. A elevada abundância dessa espécie em florestas de igapó pode ser explicada pelas queimadas recorrentes que ocorrem nesses ecossistemas.

Palavras chave: Mudanças no clima, Amazônia, Floresta de igapó, Fogo de superfície.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Tratamento com fogo: A) diásporos de *A. jauari* dispostos no centro de uma área de 1x1; B) diásporos enterrados a 1 cm no solo C) cobertos com 3 cm de serapilheira; D) após submetidos a 4 minutos de queima.24
- Figura 2. Gráfico com a porcentagem de germinação de *Astrocaryum jauari* entre os dois fatores testados, fator fogo e fator cenários climáticos, sendo: C. – as bandejas com os diásporos controle, F. As bandejas com os diásporos que passaram pelo tratamento do fogo; Cveg - Casa de Vegetação; S1 – sala 1 - cenário climático atual; S2 – sala 2 - cenário brando (T=2,5°C; Co₂= 200 ppm acima do atual); S3 –sala 3 – cenário intermediário (T=4,5°C; Co₂= 400 ppm acima do atual; S4 –sala 4 – cenário extremo (T=4,5°C; Co₂= 850 ppm acima do atual. Os círculos representam outliers. A diferença foi significativa no fator fogo (p<0.001) e o cenário climático extremo se distingue dos demais (p<0.001).. 29
- Figura 3. Gráfico com o Índice de velocidade de germinação (IVG) de *Astrocaryum jauari* entre os dois fatores testados, fator fogo e fator cenários climáticos, sendo: C. – as bandejas com os 25 diásporos controle, F. As bandejas com os 25 diásporos que passaram pelo tratamento do fogo; Cveg - Casa de Vegetação; S1 – sala 1 - cenário climático atual; S2 – sala 2 - cenário brando (T=2,5°C; Co₂= 200 ppm acima do atual); S3 –sala 3 – cenário intermediário (T=4,5°C; Co₂= 400 ppm acima do atual; S4 –sala 4 – cenário extremo (T=4,5°C; Co₂= 850 ppm acima do atual. Os círculos representam outliers. A diferença foi significativa no fator fogo (p<0.001) e o cenário climático extremo se distingue dos demais (p<0.001). 30
- Figura 4. Gráfico com o Tempo médio de germinação (em dias) de *Astrocaryum jauari* entre os dois fatores testados, fator fogo e fator cenários climáticos, sendo: C. – as bandejas com os diásporos controle, F. As bandejas com os diásporos que passaram pelo tratamento do fogo; Cveg - Casa de Vegetação; S1 – sala 1 - cenário climático atual; S2 – sala 2 - cenário brando (T=2,5°C; Co₂= 200 ppm acima do atual); S3 –sala 3 – cenário intermediário (T=4,5°C; Co₂= 400 ppm acima do atual; S4 –sala 4 – cenário extremo (T=4,5°C; Co₂= 850 ppm acima do atual. Os círculos representam outliers. A diferença foi significativa no fator fogo (p<0.001) e apenas o cenário climático extremo se distingue dos demais (p<0.001). 31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Condições em tempo real (controle) e projetadas de temperatura e CO ₂ nos microcosmos do INCT ADAPTA, conforme os cenários B1, B2 e A2 (IPCC 2007). .25	
Tabela 2. Valores médios mensais das condições climáticas dos microcosmos do INCT ADAPTA no período do experimento.27	
Tabela 3. Índices do resultado da análise de variancia de 2 fatores (tratamento com fogo e cenários climáticos) para: G (%) – Porcentagem de Germinação; IVG - índice de velocidade de germinação (em dias) e TMG - tempo médio da germinação. Sendo: GL-graus de liberdade e Valor p – probabilidade exata do teste de variância.28	

Sumário

APRESENTAÇÃO.....	11
A influência do fogo e das mudanças climáticas na germinação de sementes.....	13
OBJETIVOS.....	16
Objetivo Geral.....	16
Objetivos Específicos	16
Capítulo único	17
RESUMO	18
ABSTRACT.....	19
INTRODUÇÃO.....	20
MATERIAL E MÉTODOS.....	22
Coleta do material vegetal e triagem.....	22
Tratamento com fogo.....	23
Experimento de germinação	24
Análise estatística	26
RESULTADOS	27
DISCUSSÃO.....	32
CONCLUSÃO.....	37
AGRADECIMENTOS	38
Bibliografia citada	39
APÊNDICE: A	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

APRESENTAÇÃO

A Amazônia é conhecida por abrigar a maior e mais diversa floresta tropical do planeta (Oliveira e Amaral 2004; Higuchi 2006; ter Steege *et al.* 2013; Cardoso *et al.* 2017). A floresta amazônica se estende por uma vasta região englobando 9 países da América do Sul, sendo eles Bolívia, Guiana, Guiana Francesa, Suriname, Peru, Colômbia, Venezuela, Equador e o Brasil, o qual é o maior detentor desse território com 67,8% do total (Penna Filho 2013). Embora considerada homogênea, na verdade a região amazônica contém diferentes ecossistemas florestais conforme as condições edafoclimáticas (Sombroek 2000; Quesada *et al.* 2012). Além da floresta tropical úmida de terra firme, com elevada biomassa, que ocorre sobre diversos tipos de solo e regimes de chuvas (Braga 1979; Ribeiro *et al.* 1999), outras formações vegetais ocorrem na Amazônia brasileira, como as campinas, campinaras, cerrado, florestas de várzea e igapó (Junk *et al.* 2011).

Ao longo dos grandes rios ocorrem as florestas alagáveis submetidas a um pulso monomodal de inundação que define uma fase aquática e uma fase terrestre ao longo do ano (Junk *et al.* 1989), com uma amplitude média é de 10 m na Amazônia Central (Junk *et al.* 2011). As florestas alagáveis podem ser divididas em dois grandes grupos, as várzeas e igapós. As várzeas ocorrem ao longo dos rios de água branca e cobrem aproximadamente 450.000 km² (Melack e Hess 2010; Wittmann e Junk 2016). Por drenarem regiões geologicamente mais recentes, do final do terciário e início do quaternário (Sioli 1985), as águas desses rios carregam elevada quantidade de sedimentos ricos em nutrientes provenientes dos Andes, e as florestas associadas apresentam alta riqueza de espécies arbóreas (Wittmann *et al.* 2010). As florestas de igapó ocorrem ao longo dos rios de água preta ou clara, originados nos escudos das Guianas e do Brasil Central, regiões geológicas mais antigas, do Pré-cambriano e Paleozóico (Sioli 1985). As florestas alagáveis ao longo do rio Negro (igapós de águas pretas) e seus tributários cobrem uma área de aproximadamente 118.000 km² (Melack e Hess 2010). Estes rios contêm altas concentrações de ácidos húmicos e fúlvicos, que lhes conferem uma coloração castanho-avermelhada (Furch e Junk 1997); suas águas ácidas possuem baixa carga de sedimentos e são pobres em nutrientes (Prance 1979; Junk *et al.* 2015). Devido à pobreza nutricional dos rios que alagam essas florestas, sua produtividade é baixa quando comparada a outros sistemas mais férteis e diversos, como as florestas de várzea e de terra firme (Worbes 1997).

Os ecossistemas alagáveis abrigam uma grande variedade de espécies com importantes funções ecológicas e potencial econômico, destacando-se dentre elas as comunidades de palmeiras (Arecaceae). Nos igapós de águas pretas a espécie mais comumente encontrada é *Astrocaryum jauari* Mart., popularmente conhecida como jauari (Piedade *et al.* 2003). Nas florestas de igapó do rio Negro a palmeira jauari é encontrada formando extensos grupamentos monoespecíficos nas porções da topografia com inundação variando de 340 a 30 dias por ano (Piedade *et al.* 2003; Piedade *et al.* 2016). Os frutos possuem alto valor nutritivo e energético, sendo consumidos por várias espécies de peixes, entre elas o tambaqui (*Colossoma macropomum*) e a pirapitinga (*Piaractus brachypomus*). Essas duas espécies podem atuar como predadores, entretanto também podem ser dispersores dos diásporos de jauari (Piedade *et al.* 2016).

A presença de grandes grupamentos de *A. jauari* no rio Negro é intrigante, pois geralmente a germinação em palmeiras é lenta e desuniforme devido à presença do endocarpo que impede a embebição e a difusão do oxigênio, promovendo resistência física o que dificulta a emergência de plântulas, caracterizando a dormência como um mecanismo comum em muitas espécies da família Arecaceae (Souza *et al.* 2014). A embebição é o processo inicial envolvido na complexa fisiologia da germinação de sementes e sua limitação pode impedir a retomada do metabolismo, e a conseqüente protrusão do embrião (Bewley *et al.* 2013).

Na literatura são citados vários tratamentos induzidos para superar a dormência em sementes de palmeiras. A escarificação física com remoção do tegumento na região do hilo obteve sucesso para sementes de *Astrocaryum huaimi* Mart. (tucum) (Souza *et al.* 2014). A remoção do endocarpo e a embebição de sementes de *Astrocaryum aculeatum* G. Mey. (tucumã) aceleraram e uniformizaram a germinação dessa espécie (Ferreira e Gentil 2006). A exposição das sementes de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart. (macaúba) a altas concentrações de ácido giberélico promoveu uma germinação entre 30 a 50% maior que aquela do tratamento controle (Ribeiro *et al.* 2011; Oliveira *et al.* 2013). Para *A. jauari*, os estudos testando a germinação utilizaram diásporos obtidos na natureza recolhidos no solo e retirados de cachos foram pouco conclusivos (Piedade *et al.* 2006). Também foi feito um estudo com diásporos retirados do trato digestório de peixes, visando verificar os efeitos da passagem dos diásporos dessa palmeira pelos sucos gástricos ácidos na superação da dormência, porém os resultados tampouco foram conclusivos (Souza 2008), indicando que essa lacuna no conhecimento ainda remanesce.

A influência do fogo e das mudanças climáticas na germinação de sementes

Há um consenso na literatura de que o fogo está presente em quase todos os ecossistemas terrestres e afeta a estrutura e a composição da vegetação (Bond e Keeley 2005; Chuvieco *et al.* 2008; Pausas e Ribeiro 2013; Bicalho *et al.* 2016). Na verdade, o fogo vem influenciando a estrutura e composição da floresta Amazônica há mais de 6.000 anos, período em que em algumas regiões o clima ficou seco e a vegetação se encontrava notadamente escleromórfica e mais esparsa que a atual (Sanford *et al.* 1985; Uhl e Kauffman 1990). Nos estudos de Meggers (1994), o regime de fogo na região foi calculado como sendo raro e com grandes intervalos de recorrência, de 400 a 700 anos. Entretanto, nas últimas décadas os incêndios na Amazônia estão mais frequentes (Cochrane *et al.* 1999; Morton *et al.* 2013). Segundo Nepstad *et al.* (2001), essa redução do intervalo nos eventos de fogo está ligada às mudanças do uso do solo e ao aumento das fontes de ignição antropogênicas. Fatores como a interação entre a estrutura de combustível, clima e ambiente físico (elevação, topografia e tipo de solo, presença, velocidade e direção dos ventos), resultam geralmente em três tipos de fogo, o fogo de copa, o fogo de superfície e o fogo subterrâneo (Bond e Midggle 2003; Pausas e Keeley 2009). O fogo de superfície talvez seja o mais comum em nível mundial (Pausas e Ribeiro 2013) e o mais importante no ecossistema amazônico, sendo caracterizado pela queima de vegetação morta e rasteira (Silva 1998). É chamado de fogo rasteiro, com altura das chamas variando entre 10 a 30 cm, e velocidade de $0,25 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ (Cochrane *et al.* 1999), podendo chegar ao limite de $760 \text{ }^\circ\text{C}$ e alcançar a $50 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-1}$ (Uhl e Kauffman 1990; Carvalho *et al.* 2010).

Estudos relacionados ao fogo e a resiliência da vegetação ainda são relativamente raros para a Amazônia, pois a floresta úmida era vista como imune ao fogo devido a elevada umidade e alta pluviosidade (Barlow 2012; Liesenfeld 2014). Entretanto, nos períodos de seca os igapós de água preta apresentam menores extremos de umidade relativa do ar e maiores extremos de temperatura (Resende *et al.* 2014), sendo mais susceptíveis ao fogo (Flores *et al.* 2014, Schöngart *et al.* 2017), o que pode se agravar em um contexto de mudanças climáticas. Os eventos climáticos extremos como a ocorrência periódica do El Niño – Oscilação Sul (ENSO) (Marengo 2007), em sinergia com as atividades antrópicas (Aragão *et al.* 2018), podem potencializar a suscetibilidade ao fogo (Summers 2004; Marengo *et al.* 2018), causando um declínio na umidade do solo, resultando em altas taxas de mortalidade e aumento de inflamabilidade (Nepstad *et al.* 2004; Tomasella *et al.* 2011; Nobre *et al.* 2016).

As florestas tropicais úmidas do planeta estão mudando por meio das interações de eventos climáticos severos, a crescente concentração de CO₂ atmosférico e o uso da terra e fogo, com consequências importantes para as emissões de gases de efeito estufa e conservação da biodiversidade (Malhi *et al.* 2009; Marengo *et al.* 2011; Davidson *et al.* 2012; Balch *et al.* 2013). Provavelmente essas mudanças se intensificarão à medida que os gases do efeito estufa se acumularem na atmosfera e, em função disso, o aquecimento projetado para a região amazônica trará efeitos significativos sobre a biodiversidade e as atividades humanas (Marengo 2011).

Segundo Wuschke (1999), cerca de 30% das espécies de palmeiras do mundo são adaptadas ao fogo, como é o caso de todas as espécies do gênero *Livistona* de ocorrência na Austrália e Ásia (Hnatiuk 1977; Rodd 1998). Essa resistência ao fogo também foi evidenciada por Moura (2002) para *Attalea speciosa* Mart. ex Spreng (babaçu) que cobre grandes extensões na Amazônia maranhense. Além de colonizar áreas abertas, a dominância quase absoluta da espécie é decorrente da alta resistência do pericarpo dos frutos ao fogo, que atua quebrando a dormência da semente e promovendo rápida germinação.

Em um estudo para analisar as respostas ao fogo de espécies de palmeiras com caule aéreo e subterrâneo, e a habilidade das respostas entre espécies com e sem capacidade clonal, Liesenfeld e Vieira (2018) realizaram um experimento simulando fogo de superfície em dez espécies de palmeiras. Dentre as espécies estudadas *Attalea maripa* (Aubl.) Mart. respondeu positivamente ao impacto do fogo, sendo sugerido que sua população pode aumentar em bordas florestais impactadas pelo fogo.

A composição da comunidade de plantas em uma área perturbada pós-fogo é representada por tecidos ou sementes em estado dormente no solo que podem naturalmente desencadear o processo de regeneração (Trabaud e Lepard 1980; Magnago 2012; Fichino *et al.* 2016). As características do solo e do clima local e a disponibilidade da água são determinantes no potencial de crescimento, e nas espécies que surgem pós-fogo (Keeley *et al.* 2005; Röder *et al.* 2008).

Em um estudo na Amazônia venezuelana, as espécies que se estabeleceram após incêndio foram pioneiras sobreviventes do banco de sementes, invasoras e brotos dispersos pelo vento (Uhl *et al.* 1981). Para as sementes de muitas espécies, as altas temperaturas tanto podem quebrar o tegumento, facilitando a germinação, como causar a morte do embrião, um decréscimo na germinação ou ainda quebrar o tegumento, mas não influenciar na germinação (Gashaw e Michelson 2002; Schmidt *et al.* 2005; Overbeck *et al.* 2006; Cirne e Miranda 2008). Além disso, o tamanho da semente também influencia. Sementes maiores tendem a mostrar

maior tolerância ao calor (Gashaw e Michelsen 2002; Ribeiro *et al.* 2015), enquanto as menores são mais facilmente estimuladas a germinar após incêndios, especialmente após incêndios que produzem altas temperaturas no solo (Hanley *et al.* 2003).

Para as florestas alagáveis sujeitas à oscilação dos níveis dos rios a variação no clima é um fator adicional de estresse. A flora do igapó tem limitações impostas pelo pH e pelas baixas concentrações de nutrientes, além de ser altamente adaptada à sazonalidade hídrica do pulso de inundação dos rios associados (Junk *et al.* 2015). Eventos de perturbação como a seca prolongada e o fogo colocam em risco a regeneração natural da floresta, eliminando espécies menos tolerantes ao fogo e favorecendo espécies que possam ser mais resilientes como *A. jauari*.

Na Amazônia Central, populações monoespecíficas de *A. jauari* ocupam grandes áreas aluviais no Arquipélago de Anavilhanas e na região de Barcelos (Piedade *et al.* 2006), como também em áreas alagáveis no rio Negro nas proximidades da cidade de Manaus, onde foram registrados incêndios no sub-bosque na seca do ano de 1990 (Nelson e Irmão 1998). Esses mesmos autores ainda especulam que a grande densidade de *A. jauari* nas áreas de Barcelos pode ser resultado dos incêndios de 1926 causados pelo forte El Niño daquele ano. Como espécies de sucessão exigentes de luz, as palmeiras arborescentes dependem de grandes eventos de perturbação para se tornarem ecologicamente dominantes (Kahn 1986; Kahn e de Granville 1992).

Observações de campo sugerem haver uma maior densidade da palmeira *jauari* em áreas de igapó que sofreram perturbação pelo fogo, em comparação com áreas sem perturbação, resultado, provavelmente, da quebra de dormência que pode ser facilitada pelo fogo. Porém, pouco se conhece a respeito da quebra de dormência, e regeneração da espécie em ambientes naturais e não há estudos para entender a resposta da espécie às imposições do ambiente pós-fogo que avaliem o desenvolvimento da planta. Dessa forma, a investigação sobre a quebra de dormência e regeneração da espécie permitirá compreender as estratégias adaptativas de *A. jauari* para resistir ao fogo e se propagar, podendo explicar a massiva ocupação da espécie em estandes monoespecíficos em áreas ao longo do rio Negro.

OBJETIVOS

Objetivo Geral

Determinar a influência do fogo controlado na germinação de sementes de *Astrocaryum jauari* em condições de casa de vegetação e microcosmos simulando temperatura e concentração de CO₂ de acordo com cenários futuros de mudanças do clima.

Objetivos Específicos

- I. Verificar a influência do fogo controlado nos índices de germinação de sementes *A. jauari*;
- II. Analisar o efeito de quatro cenários climáticos previstos pelo IPCC 2007 (aumento de concentrações de CO₂ e de temperatura) e casa de vegetação (controle) na germinação de sementes de *A. jauari*.

Capítulo único

Ferreira, A.B.; Piedade, M.T.F; Lopes, A.;
Durgante, F.M.

Efeito do fogo induzido na germinação de *Astrocaryum jauari* (Mart.) em cenários de mudanças climáticas

Effect of fire induced on germination of *Astrocaryum jauari* (Mart.) in climate change scenarios

Aurélia Bentes Ferreira^{1*}, Maria Teresa Fernandez Piedade², Aline Lopes^{2,3}, Flávia Machado Durgante^{2,4*}

1 Pós-graduação em Botânica. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/ Grupo MAUA “Ecologia, Monitoramento e Uso Sustentável de Áreas Úmidas Amazônicas”. Av. André Araújo 2.936, Aleixo CEP: 69060-001, Manaus, Amazonas, Brasil. aureliaferreira.j5@gmail.com

2 Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, CDAM/ Grupo MAUA “Ecologia, Monitoramento e Uso Sustentável de Áreas Úmidas Amazônicas”. Av. André Araújo 2.936, Aleixo CEP: 69060-001, Manaus, Amazonas, Brasil.

3 Universidade de Brasília, Instituto de Ciências Biológicas, Campus Darcy Ribeiro, Asa Norte 70910900 Brasília.

4 Instituto de Tecnologia de Karlsruhe, Departamento de Áreas Úmidas, Josefstr.1 D-76437 Rastatt, Alemanha. flavia.durgante@kit.edu.

*Corresponding authors:

RESUMO

A palmeira *Astrocaryum jauari* Mart. (jauari) possui adaptações que lhe permitem sobreviver nos ambientes amazônicos alagáveis, sendo encontrada com alta abundância em áreas de igapó com histórico de desmatamento e/ou fogo. Com o objetivo de elucidar a ecologia germinativa e o estabelecimento inicial da espécie, diásporos de jauari foram coletados na fase terrestre em três áreas na Amazônia Central e foi realizado um experimento de fogo. Para o experimento os diásporos foram enterrados a 1 cm de profundidade no solo e recobertos com serrapilheira, sendo submetidos a queima controlada por 4 minutos, a germinação foi avaliada em casa de vegetação e em microcosmos, simulando o clima atual e em quatro cenários climáticos previstos pelo IPCC 2007. O experimento foi analisado em esquema bifatorial com o fator 1 contendo diásporos sem exposição ao fogo (controle), e diásporos expostos ao fogo, com seis repetições de 25 diásporos em cada ambiente totalizando 1.500 diásporos no experimento e o fator 2 com cinco cenários climáticos. A casa de vegetação mantém as condições climáticas atuais da cidade de Manaus, com sombreamento de 75%, e no microcosmo os quatro cenários climáticos previstos pelo IPCC 2007, a partir da temperatura e CO₂ da sala 1- controle que representa as condições atuais as demais salas foram acrescidas automaticamente nas seguintes proporções: sala 2 (2,5°C; 200 ppm-bando), sala 3 (4,5°C; 400 ppm-intermediário) e sala 4 (4,5°C; 850 ppm-extremo). A germinação foi monitorada a cada 3 dias por 306 dias. O tratamento de fogo afetou positivamente a germinação em todos os ambientes testados. O cenário extremo exerceu uma influência positiva tanto no tratamento de fogo como no controle com a porcentagem e a velocidade de germinação em torno de 75% e 0.8 respectivamente. Na casa de vegetação e nos cenários Controle, Brando e Intermediário não houve diferença significativa na porcentagem de germinação. O tempo mediano de germinação dos diásporos que passaram pelo fogo foi de 50 dias e dos diásporos que não passaram pelo fogo foi de 250 dias.

Pode-se concluir que o fogo induziu a quebra de dormência dos diásporos. Quando estes foram expostos ao cenário extremo a porcentagem de germinação de *A. jauari* alcançou cerca de 75 %, possivelmente pela aceleração do metabolismo sob essas condições simuladas. A elevada abundância dessa espécie em florestas de igapó pode ser explicada pelas queimadas recorrentes que ocorrem nesses ecossistemas.

Palavras chave: Mudanças no clima, Amazônia, Floresta de igapó, Fogo de superfície.

ABSTRACT

The palm tree *Astrocaryum jauari* Mart. (*jauari*) has adaptations that allow it to survive in flooded Amazonian environments, being found with high abundance in igapó areas with a history of deforestation and/or fire. With the objective of elucidating the germinal ecology and the initial establishment of the species, *jauari* diaspores were collected in the terrestrial phase in three areas in the Central Amazon and a fire experiment was carried out. For the experiment, the diaspores were buried 1 cm deep in the soil and covered with litter, being subjected to controlled burning for 4 minutes, germination was evaluated in a greenhouse and in microcosms, simulating the current climate and in four predicted climate scenarios by IPCC 2007. The experiment was analyzed in a bifactorial scheme with factor 1 containing diaspores without exposure to fire (control), and diaspores exposed to fire, with six replications of 25 diaspores in each environment totaling 1,500 diaspores in the experiment and factor 2 with five climate scenarios. The greenhouse maintains the current climate conditions of the city of Manaus, with 75% shading, and in the microcosm the four climate scenarios predicted by the IPCC 2007; based on the temperature and CO₂ of room 1 - control, which represents the current conditions of the others rooms were added automatically in the following proportions: room 2 (2.5°C; 200 ppm-mild), room 3 (4.5°C; 400 ppm-intermediate) and room 4 (4.5°C; 850 ppm-extreme). Germination was monitored every 3 days for 306 days. The fire treatment positively affected germination in all environments tested. The extreme scenario exerted a positive influence on both the fire treatment and the control with the percentage and speed of germination around 75% and 0.8 respectively. In the greenhouse and in the Control, Mild and Intermediate scenarios there was no significant difference in the percentage of germination. The median germination time of the diaspores that went through fire was 50 days and the diaspores that did not go through fire were 250 days.

It can be concluded that fire induced diaspore dormancy breaking. When these were exposed to the extreme scenario, the germination percentage of *A. jauari* reached about 75%, possibly due to the acceleration of metabolism under these simulated conditions. The high abundance of this species in igapó forests can be explained by the recurrent fires that occur in these ecosystems.

Keywords: Climate change, Amazon, Igapó forest, Surface fire.

INTRODUÇÃO

Incêndios florestais de grandes proporções estão se tornando uma ocorrência quase anual em muitas regiões do mundo. Os regimes de incêndios estão mudando devido ao aumento da temperatura e a mudança nos padrões de precipitação. À medida que essas mudanças aconteceram as florestas úmidas também começaram a experimentar maior severidade do fogo com maior intensidade e frequência, inclusive na Amazônia (Peres 1999; Alencar *et al.* 2004; IPCC 2007; Alencar *et al.* 2015). Os intervalos naturais de regime do fogo no holoceno médio, foram calculados em centenas de anos (Sanford *et al.* 1985; Uhl e Kauffman 1990; Meggers 1994), mas nas últimas décadas esse intervalo diminuiu drasticamente (Cochrane *et al.* 1999; Morton *et al.* 2013). Atualmente, só nos últimos 16 anos, a região já experimentou quatro grandes secas com intervalos médios de apenas 4 anos (Marengo e Espinoza 2016). Essas condições quentes e extremamente secas, associadas às mudanças no uso do solo e derrubada da floresta seguida de queima, contribuem para os incêndios florestais (Bagley *et al.* 2014), de forma que o fogo atualmente é visto como uma grande ameaça às florestas amazônicas.

De acordo com as previsões climáticas, secas extremas e incêndios florestais poderão se tornar mais frequentes em grande parte da Amazônia (Duffy *et al.* 2015; Brando *et al.* 2020). As temperaturas mais altas provomoverão uma alteração no ambiente microclimático das plantas resultando, provavelmente, em uma atmosfera mais seca no futuro à medida que a força motriz para a evapotranspiração aumentar (Ficklin e Novick 2017). Assim, a floresta amazônica, além de armazenar o carbono atmosférico, interage com a atmosfera para regular a umidade dentro da região (Marengo *et al.* 2011). O aumento do CO₂, por sua vez, terá um impacto indireto no desempenho das plantas por meio de seu efeito na temperatura do ar e no estresse hídrico. A concentração de CO₂ e a temperatura afetam o crescimento, desenvolvimento e funcionamento das plantas (Schimel *et al.* 1996). Estudos sobre as possíveis consequências das mudanças climáticas na Amazônia indicam que suas florestas podem estar em um limiar, a partir do qual, o acúmulo dos impactos das mudanças impedirá seu retorno às funções anteriores de estocagem de carbono e de regulação do clima (“ponto de não retorno”; Lovejoy e Nobre, 2019), com potencial de transformar completamente seus ambientes (Henderson-Sellers e McGuffie, 2012; Esquivel-Muelbert *et al.* 2019).

Em regiões propensas ao fogo, ele é o principal estimulante para a germinação de sementes e o estabelecimento de plântulas (Whelan 1995; Fenner e Thompson 2005). A

elevação da temperatura do solo durante o fogo atua como um acelerador da quebra de dormência de sementes (Auld e O'Connell 1991; Ooi *et al.* 2014; Piedade 1985 Liyanage e Ooi 2017). No Brasil a maioria dos estudos de germinação relacionados ao fogo tem sido conduzida no bioma cerrado (Miranda *et al.* 1993; Ribeiro *et al.* 2015; Daibes *et al.* 2017). Para a Amazônia, estudos mostram que um único incêndio pode contribuir para a fragmentação da floresta e a propagação de espécies tolerantes ao fogo (Alencar 2004; Barlow e Peres 2008).

A Amazônia tem histórico bem documentado do uso do fogo pelos povos tradicionais, mas estudos relacionados à resiliência da floresta pós-fogo são raros. Estudos nas florestas de igapó de águas pretas têm mostrado a fragilidade e susceptibilidade desse ecossistema aos incêndios em comparação à terra firme, com maiores danos pós-fogo e, conseqüentemente, menor regeneração, que é dificultada pelo período de alagamento (Nelson 2001; Flores *et al.* 2014; Flores *et al.* 2017). Um estudo com dados sistemáticos de respostas de plantas ao fogo foi realizado com uma comunidade de palmeiras, em uma área de borda de floresta no Acre, simulando fogo de superfície. Dentre as espécies estudadas *Attalea maripa* (Aubl.) Mart. apresentou maior habilidade de resposta ao fogo, não tendo sido observada mortalidade resultante do fogo para a espécie, já as espécies *Euterpe precatória* Mart. e *Oenocarpus bataua* Mart. foram severamente danificadas pelo fogo, podendo resultar em redução populacional para essas espécies em bordas de florestas impactadas pelo fogo; (Liesenfeld e Vieira (2018). Em outro estudo realizado por Romero-Gómez *et al.* (2021), em áreas alagáveis na Reserva Natural Bojonawi (Colombia), foi relatado que indivíduos adultos da espécie *Astrocaryum jauari*. Mart. são capazes de sobreviver a incêndios florestais de copa.

A espécie *Astrocaryum jauari* pertence à família Arecaceae e é popularmente conhecida como jauari. Ocorre naturalmente nas áreas alagáveis amazônicas, podendo ocorrer nas várzeas, embora seja mais abundante nas florestas de igapó, apresentando alta dominância nas áreas alagáveis ao longo do rio Negro, onde pode formar densos estandes monoespecíficos. É encontrada das porções da topografia com inundação variando de 30 a 340 dias por ano (Piedade *et al.* 2003; Piedade *et al.* 2016). A palmeira jauari alcança em média 20 m de altura e pode ocorrer isolada ou formando touceiras; produz em média quatro cachos, cada um com cerca de 110 frutos; os frutos são ovoides medindo entre 3 e 4 cm e apresentam coloração verde amarelada, sendo dispersados na cheia (Piedade *et al.* 2006). Embora apresentando também reprodução clonal, a partir de um único rizoma (Boer 1965), o mecanismo predominante de propagação de *A. jauari* é por meio de sementes.

A. jauari apresenta diversas adaptações ao alagamento Schlüter *et al.* (1993), porém, os estudos realizados até o momento para analisar a superação da dormência dos diásporos tiveram

resultados inconclusivos (Piedade *et al.* 2006; Souza 2008). Contudo, observações de campo e indicativos de literatura (Nelson e Irmão 1998) apontam o fogo como um possível vetor na quebra da dormência, o que explicaria a grande dominância da espécie em áreas queimadas da bacia do rio Negro. Diante disso, e considerando que eventos de fogo tendem a aumentar frente aos crescentes cenários de mudanças climáticas em curso, este trabalho objetivou avaliar experimentalmente se eventos de fogo podem favorecer a germinação *A. jauari* em áreas de igapó, partindo das seguintes hipóteses: 1) O fogo de superfície acelera a germinação de *A. jauari*; 2) A germinação e a emergência das plântulas serão favorecidas em cenários de mudanças climáticas.

MATERIAL E MÉTODOS

Coleta do material vegetal e triagem

Foram coletados diásporos de *A. jauari* em três áreas de igapó entre outubro e novembro de 2019, sendo 15 matrizes no Parque Nacional do Jaú (coordenadas de referência 61°25'11" W 1°51'41" S), 8 matrizes na Reserva de Desenvolvimento Sustentável – RDS - Uatumã (2°32'44.5" S 58°09'38.8" W) e 15 matrizes na Área de Proteção Ambiental – APA - rio Negro (3°04'50" S 60°15'39" W). O clima nas três áreas é classificado como Af segundo a classificação de Köppen (Alvares *et al.* 2013). Os frutos são dispersos na fase da cheia e permanecem cerca de 180 dias submersos; as coletas foram realizadas na fase terrestre, tendo sido colhidos diásporos do evento de dispersão que precedeu a coleta. Os diásporos foram coletados respeitando uma distância de dois metros partindo do tronco ao redor da planta matriz. Após a coleta os diásporos foram transportados para o Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA).

Os procedimentos de triagem foram realizados no Laboratório de Fisiologia do grupo MAUA/INPA. A triagem foi realizada manualmente, retirando os diásporos com danos mecânicos, ataques por coleópteros e fungos; resíduos de fibras do mesocarpo foram também removidos. Os diásporos (endocarpo contendo a semente no interior) após a triagem, foram imersos em solução de hipoclorito a 200 ppm com concentração de 2% de cloro ativo, tendo sido usados 10 ml da solução para cada litro de água. Os diásporos que flutuaram, a princípio inviáveis (Piedade *et al.* 2006), foram retirados; após 15 minutos nessa mistura os diásporos

foram lavados em água corrente, e posteriormente dispostos na bancada do laboratório para secar. Após a secagem superficial foram homogeneizados e cem diásporos foram retirados para medidas biométricas, os diásporos foram pesados em balança analítica (Precisão: $\pm 0,0001$ g - Bel Mark 210 A), e para medidas de comprimento e diâmetro foi utilizado um paquímetro digital. A outra parte dos diásporos foram acondicionados em ambiente de laboratório com temperatura média de 24 °C. Metade dos diásporos foi submetida a um tratamento de fogo na camada superficial do solo e a outra metade mantida intacta para ser utilizada como controle.

Tratamento com fogo

O tratamento com fogo foi realizado novembro de 2019 (estação seca) em uma propriedade particular, localizada no km 5 da estrada do distrito de Paricatuba (Iranduba-AM) (3°04'50" S/60°15'39" W). Neste local, foi escolhida uma área plana de 1 m², onde, depois de limpa, procedeu-se a aplicação do tratamento com fogo.

Os diásporos foram dispostos na área e encobertos por uma camada de solo de forma que ficassem enterrados a 1 cm (Figura 1); em seguida a área recebeu uma camada de 3 cm de serapilheira, constituída de folhas inteiras e fragmentadas, além de resíduos das fibras dos diásporos retirados durante a triagem. O solo, com predominância de areia, e a serapilheira foram coletados nos mesmos locais das coletas dos diásporos a serrapilheira foi mantida por 3 dias em estufa a 40 °C. Buscou-se simular desta forma as condições de baixa umidade, propícias à rápida propagação do fogo. O tempo de fogo na superfície do solo foi de 4 minutos, seguindo metodologia de Liesenfeld e Vieira (2014). O fogo foi iniciado observando a direção do vento e para a ignição foi utilizada a chama de uma vela de parafina; o consumo das folhas se deu de imediato, e em 4 minutos todo o material combustível restante foi consumido.



Figura 1. Tratamento com fogo: A) diásporos de *A. jauari* dispostos no centro de uma área de 1x1; B) diásporos enterrados a 1 cm no solo C) cobertos com 3 cm de serapilheira; D) após submetidos a 4 minutos de queima.

Experimento de germinação

O experimento de germinação foi realizado em quatro cenários climáticos distintos, em microcosmos e um controle em casa de vegetação. Foi utilizada a casa de vegetação do grupo MAUA - INPA (Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia) - Campus I, com 75% de luminosidade e monitoramento da temperatura. A média anual de temperatura na cidade de Manaus é de 26,7 °C com pouca variação sazonal entre 25,9 a 27,7 °C (Alvares *et al.* 2013). Foram utilizados os microcosmos do INCT para Estudos das Adaptações da Biota Aquática da Amazônia, ADAPTA, INPA. Esses ambientes foram criados para simular os cenários climáticos descritos no Quarto Relatório do IPCC (2007). Sua estrutura é constituída por quatro salas climatizadas cuja temperatura, umidade relativa do ar, luminosidade e concentração de dióxido de carbono (CO₂) são controladas 24 horas por dia. A sala 1 é o cenário controle, onde as variáveis seguem, em tempo real, as condições de temperatura, e concentração de dióxido de carbono (CO₂) encontradas na parte externa do laboratório; a sala 2 é o ambiente que reproduz o cenário brando (B1) com um aumento de 1,5 °C na temperatura do ar e um aumento de 200 ppm de CO₂; a sala 3 reflete o cenário intermediário (A1B) com um aumento de 2,5 °C na

temperatura do ar e de 400 ppm de CO₂; a sala 4 reflete o cenário extremo (A2) com um aumento de 4,5 °C na temperatura do ar e um aumento de 850 ppm de CO₂. As salas 2, 3 e 4 têm seus parâmetros variando em relação à sala 1 (Tabela 1). A umidade é mantida em 75% nas quatro salas. As salas possuem um controle automático das luzes, estabelecendo um regime de 12 horas com luz e 12 horas sem luz, conforme as características ambientais da região onde estão localizados os microcosmos. As salas possuem um sistema interno que capta os valores reais dos três parâmetros controlados a cada 2 minutos e os armazena em um computador exclusivo para esta finalidade.

Tabela 1. Condições em tempo real (controle) e projetadas de temperatura e CO₂ nos microcosmos do INCT ADAPTA, conforme os cenários B1, B2 e A2 (IPCC 2007).

Tratamento	Cenário IPCC 2007	Temperatura (°C)	CO₂ (ppm)
Controle (sala 1)	-	± 27	± 400
Brando (sala 2)	B1	Controle +1.5	Controle+ 200
Intermediário (sala 3)	B2	Controle +2.5	Controle + 400
Extremo (sala 4)	A2	Controle +4.5	Controle +850

A semeadura foi feita em caixas de plástico (25x30x5 cm) contendo vermiculita de granulação média como substrato. Na casa de vegetação e em cada cenário foram colocadas 12 bandejas de plástico com 25 diásporos cada, sendo seis repetições com diásporos sem exposição ao fogo e seis repetições com diásporos expostos ao fogo totalizando 1.500 diásporos. Durante o experimento a rega foi realizada a cada dois dias na casa de vegetação e nos cenários, controle e brando. Na casa de vegetação durante o período chuvoso as regas eram realizadas somente quando necessário. Nos cenários intermediário e extremo a rega foi realizada todos os dias.

A germinação foi considerada a partir da protrusão da primeira estrutura embrionária (Bewley 2013), e foi avaliada a cada 3 dias, registrando: porcentagem de germinação, índice de velocidade de germinação e tempo médio de germinação (Santana e Ranal 2004). Germinação (%G): calculada pela fórmula $G = (N/100) \times 100$, em que: N = Número de diásporos germinados ao final do teste. Unidade: %. - Índice de velocidade de germinação (IVG): calculado pela fórmula $IVG = \sum (ni/ti)$, em que: ni = Número de diásporos que germinaram no tempo 'i'; ti =

tempo após instalação do teste; $i = 1 \rightarrow 306$ dias. Tempo médio de germinação (TMG): calculado pela fórmula $TMG = (\sum ni ti) / \sum ni$, em que: ni = Número de diásporos germinados por dia; ti = Tempo de incubação; $i = 1 \rightarrow$. Os experimentos foram acompanhados por um período de 306 dias na casa de vegetação e no microcosmos.

Análise estatística

O experimento foi conduzido em esquema bifatorial onde o fator 1 foram os diásporos com e sem fogo e o fator 2 foram os distintos cenários climáticos. Efetuou-se análise de variância (ANOVA de 2 fatores) e um post-hoc teste de Tukey a 5% de probabilidade para analisar a diferença entre os índices de germinação entre os fatores, com o auxílio do software estatístico R. Em cada cenário climático foram dispostas 6 bandejas com o tratamento do fogo e 6 bandejas controle foram as repetições. Na casa de vegetação 2 bandejas do controle foram excluídas das análises pois não germinou nenhum diásporo até o final do experimento.

RESULTADOS

Os diásporos de *A. jauari* apresentam pouca variação em suas dimensões, com valores médios de 2,54 cm para o comprimento (mínimo 2,01 e máximo 3,21); 2,08 cm para a largura (mínimo 1,63 e máximo 2,91); 2,06 cm para a espessura (mínimo 1,62 e máximo 2,58), e, 6,10 gramas de massa fresca (mínimo de 3,00 e máximo de 12). Cerca de 60% dos diásporos coletados as sementes se encontravam soltas no endocarpo.

As características ambientais da casa de vegetação e dos cenários dos microcosmos variaram conforme a sazonalidade climática ao longo do ano. A temperatura média mensal registrada para a casa de vegetação variou de 25,30 - 31,60 °C, sendo a temperatura mais baixa registrada para o mês de abril e a temperatura mais alta em setembro. Nos microcosmos a média mensal da concentração de CO₂ variou de 362,80 – 397,70 ppm no cenário controle (sala 1), 573,20 – 597,60 ppm no cenário brando (sala 2), 770,50 – 849,30 ppm no cenário intermediário (sala 3) e 1225,30 – 1297,60 ppm no cenário extremo (sala 4). A temperatura variou de 26 – 28,90 °C no controle, de 27,60 – 29,80 °C no brando, 28,40 – 31,40 °C no intermediário e 31,20 – 33,70 °C no extremo. A umidade em todas as salas nos meses do experimento se manteve entre 64 a 82% (Tabela 2).

Tabela 2. Valores médios mensais das condições climáticas dos microcosmos do INCT ADAPTA no período do experimento.

Meses	CO ₂ (ppm)				Temperatura °C				Umidade (%)			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Nov	362.80	573.80	770.50	1225.30	28.40	29.80	30.40	32.80	75.70	68.40	74.80	75.20
Dez	393.90	576.80	772.90	1231.50	27.00	28.40	29.00	31.40	79.60	75.75	75.97	76.86
Jan	392.90	582.10	785.20	1226.20	27.70	28.90	29.20	31.50	78.40	74.40	67.90	64.00
Fev	392.90	572.10	775.30	1242.60	27.00	28.40	29.30	31.80	76.80	82.00	78.84	79.90
Mar	378.60	583.80	785.70	1250.30	27.00	28.30	29.10	31.60	76.90	79.40	80.40	80.79
Abr	382.10	597.60	849.30	1297.60	26.00	27.60	28.40	31.00	78.20	80.20	81.20	81.70
Mai	386.60	573.20	774.50	1268.00	26.60	27.60	28.40	31.20	77.90	79.90	81.00	81.20
Jun	373.30	583.20	782.20	1275.60	26.80	28.10	28.90	31.20	76.40	68.60	80.00	80.60
Jul	397.70	591.60	788.20	1287.10	27.50	28.70	29.50	32.30	73.20	67.70	76.50	75.80
Ago	389.90	597.30	783.00	1269.30	28.90	28.60	31.40	33.70	67.60	66.50	71.90	70.20
Set	382.30	576.80	780.70	1257.10	27.90	28.50	30.00	33.20	69.00	69.70	74.90	70.70

Onde: 1 = sala controle, 2 = sala branda; 3 = sala intermediária; e 4 = sala extrema

A germinação das sementes de *A. jauari* foi influenciada significativamente pelo fogo ($p < 0,001$; Tabela 3). O fogo teve efeito significativo em todos os índices avaliados de germinação (% de germinação, IVG e TMG). Apenas no microcosmo no cenário climático extremo se distinguiu dos demais cenários nos três parâmetros de germinação avaliados (Post-hoc teste Tukey, Tabela Suplementar 1 (APÊNDICE A).

Tabela 3. Índices do resultado da análise de variância de 2 fatores (tratamento com fogo e cenários climáticos) para: G (%) – Porcentagem de Germinação; IVG - índice de velocidade de germinação (em dias) e TMG - tempo médio da germinação. Sendo: GL- graus de liberdade e Valor p – probabilidade exata do teste de variância.

	GL	Valor p	Significância
G (%)			
Fogo	1	$2 \cdot 10^{-16}$	***
Cenários Climáticos	4	$3.31 \cdot 10^{-12}$	***
Residuals	50		
IVG (dias)			
Fogo	1	$2 \cdot 10^{-16}$	***
Cenários Climáticos	4	$6.14 \cdot 10^{-10}$	***
Residuals	50		
TMG (dias)			
Fogo	1	$2 \cdot 10^{-16}$	***
Cenários Climáticos	4	0.00018	***
Residuals	50		

Significância: 0'***' 0.001'***' 0.01'**' 0.05'.' 0.1' ' 1

Os diásporos submetidos ao tratamento de fogo apresentaram uma porcentagem de germinação entre 30 a 40% superior em relação aos diásporos que não foram submetidas ao fogo, em todos os cenários climáticos testados (Figura 2). O cenário climático extremo, aumentou significativamente a porcentagem de germinação dos diásporos ($p < 0.01$) de ambos os tratamentos. Diásporos não submetidos ao tratamento de fogo apresentaram a porcentagem de germinação abaixo de 20% nos dois cenários climáticos mais brandos e nos controles (Figura 2). Entretanto, no cenário climático extremo a porcentagem de germinação foi bem mais alta (40%). Valores similares, foram observados para os diásporos submetidos ao fogo, nos cenários brando e controle a porcentagem não ultrapassou 60%, enquanto no cenário extremo alcançou cerca de 75%.

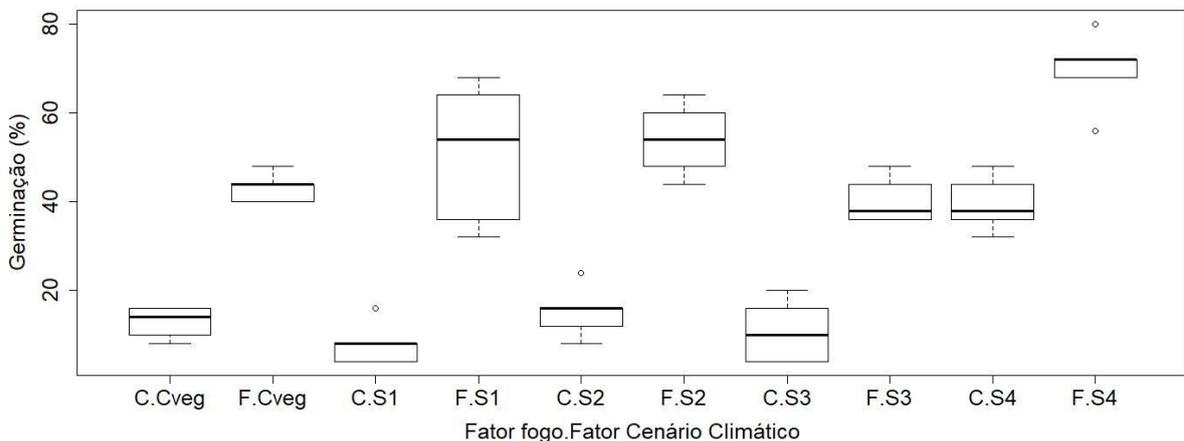


Figura 2. Gráfico com a porcentagem de germinação de *Astrocarium jauari* entre os dois fatores testados, fator fogo e fator cenários climáticos, sendo: C. – as bandejas com os diásporos controle, F. As bandejas com os diásporos que passaram pelo tratamento do fogo; Cveg - Casa de Vegetação; S1 – sala 1 - cenário climático atual; S2 – sala 2 - cenário brando ($T=2,5^{\circ}\text{C}$; $\text{Co}_2=200$ ppm acima do atual); S3 – sala 3 – cenário intermediário ($T=4,5^{\circ}\text{C}$; $\text{Co}_2=400$ ppm acima do atual); S4 – sala 4 – cenário extremo ($T=4,5^{\circ}\text{C}$; $\text{Co}_2=850$ ppm acima do atual). Os círculos representam outliers. A diferença foi significativa no fator fogo ($p < 0.001$) e o cenário climático extremo se distingue dos demais ($p < 0.001$).

Os diásporos que passaram pelo tratamento de fogo apresentaram valores do índice de velocidade de germinação (IVG) significativamente superiores aos diásporos não submetidos ao fogo ($p < 0,01$; Figura 3). O IVG foi próximo à zero nos diásporos não tratados e passou para 0.4 nos diásporos tratados. Nos microcosmos, apenas o cenário climático extremo ($p < 0,01$; figura 3) apresentou aumento significativo, dobrando o valor de IVG tanto nos diásporos tratados pelo experimento do fogo (0.8), como os diásporos sem tratamento de fogo (0.4). No

cenário extremo no sexto dia de experimento foi observada a primeira germinação para o tratamento de fogo, enquanto no tratamento controle a germinação ocorreu aos doze dias.

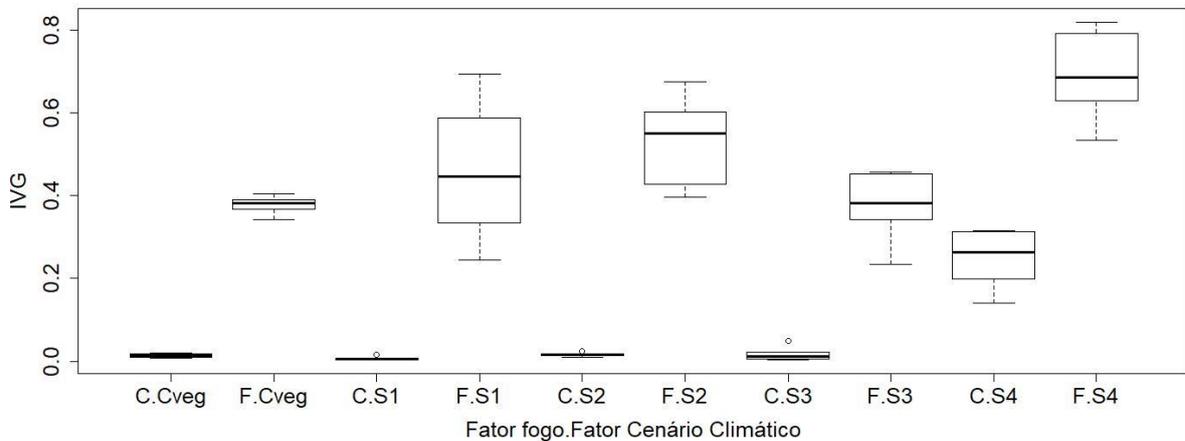


Figura 3. Gráfico com a Índice de velocidade de germinação (IVG) de *Astrocaryum jauari* entre os dois fatores testados, fator fogo e fator cenários climáticos, sendo: C. – as bandejas com os 25 diásporos controle, F. As bandejas com os 25 diásporos que passaram pelo tratamento do fogo; Cveg - Casa de Vegetação; S1 – sala 1 - cenário climático atual; S2 – sala 2 - cenário brando ($T=2,5^{\circ}\text{C}$; $\text{Co}_2= 200$ ppm acima do atual); S3 –sala 3 – cenário intermediário ($T=4,5^{\circ}\text{C}$; $\text{Co}_2= 400$ ppm acima do atual; S4 –sala 4 – cenário extremo ($T=4,5^{\circ}\text{C}$; $\text{Co}_2= 850$ ppm acima do atual). Os círculos representam outliers. A diferença foi significativa no fator fogo ($p<0.001$) e o cenário climático extremo se distingue dos demais ($p<0.001$).

O tempo médio de germinação (TMG) para os diásporos tratados com o fogo foi de aproximadamente 70 dias (Figura 4) para todos os cenários avaliados. Já para os diásporos sem tratamento na casa de vegetação e nos microcosmos brando e intermediário, a germinação só ocorreu após 200 dias (Figura 4). O TMG no cenário extremo sem fogo, foi significativamente ($p<0.01$) menor cerca de 50 dias, que nos demais cenários climáticos testados (Figura 4). Os diásporos tratados com fogo germinaram com a mediana de 50 dias, enquanto, diásporos sem tratamento com fogo, a germinação ocorreu próximo aos 150 dias de experimento na sala extrema.

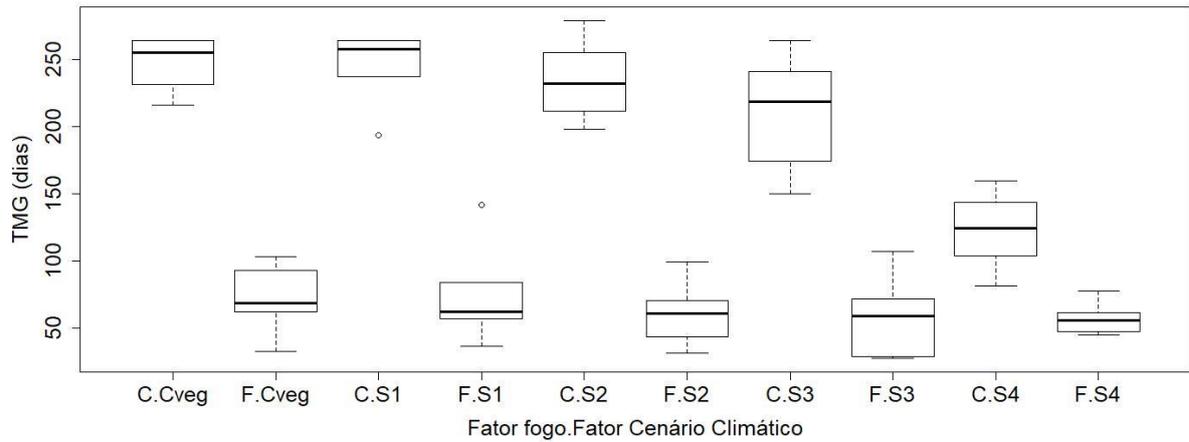


Figura 4. Gráfico com o Tempo médio de germinação (em dias) de *Astrocaryum jauari* entre os dois fatores testados, fator fogo e fator cenários climáticos, sendo: C. – as bandejas com os diásporos controle, F. As bandejas com os diásporos que passaram pelo tratamento do fogo; Cveg - Casa de Vegetação; S1 – sala 1 - cenário climático atual; S2 – sala 2 - cenário brando ($T=2,5^{\circ}\text{C}$; $\text{Co}_2= 200$ ppm acima do atual); S3 –sala 3 – cenário intermediário ($T=4,5^{\circ}\text{C}$; $\text{Co}_2= 400$ ppm acima do atual); S4 –sala 4 – cenário extremo ($T=4,5^{\circ}\text{C}$; $\text{Co}_2= 850$ ppm acima do atual). Os círculos representam outliers. A diferença foi significativa no fator fogo ($p<0.001$) e apenas o cenário climático extremo se distingue dos demais ($p<0.001$).

DISCUSSÃO

A germinação dos diásporos de *Astrocaryum jauari* respondeu significativamente ao fogo com maior porcentagem e taxa de germinação e menor tempo para a germinação quando comparada aos diásporos sem tratamento. O sucesso da germinação de sementes expostas ao fogo depende do equilíbrio entre a temperatura e a profundidade na qual elas são enterradas no solo (Auld 1986). O choque térmico, em regiões propensas ao fogo, é um dos efeitos relacionados ao fogo reconhecido por influenciar a germinação de sementes em várias espécies de plantas (Dayamba *et al.* 2010; Moreira *et al.* 2010; Liyanage e Ooi 2017). Nesses ambientes a dormência física é comum e as sementes dependem do calor gerado pelo fogo para iniciar a germinação (Ooi, 2007; Liyanage e Ooi, 2015).

Estudos realizados em ambientes pós-fogo em floresta tropical constataram que o fogo reduziu a densidade dos bancos de sementes no solo, e para sementes enterradas nos primeiros 1,5 cm de solo a viabilidade foi reduzida em média 60% (Uhl, 1981; Cochrane 2003). Em nosso estudo, os diásporos enterrados a 1cm no solo ficaram viáveis, fato este que pode estar associado ao tipo de semente, à baixa carga combustível e ao curto período da permanência do fogo. Meneses e Rossi (2011) avaliaram o efeito do fogo na germinação de *Mimosa birmucronata* (DC.) Kuntze com exposição de 20 minutos com duas cargas de gramíneas secas (300 e 450g). As sementes expostas ao fogo se tornaram totalmente inviáveis, enquanto as sementes enterradas a 2cm de profundidade no solo sobreviveram; o experimento com 300g de gramíneas secas registrou a temperatura média em torno de 60 °C no solo, o que, segundo os autores, pode ter proporcionado um índice de velocidade de germinação (6) superior em relação ao controle (4.3), embora a porcentagem de germinação não tenha diferido, ficando ambos ao redor de 60%. Já no experimento com a carga de 450g de gramíneas secas a temperatura no solo foi mais alta, entre 80 °C e 120 °C, resultando no decréscimo nos valores de porcentagem de germinação (35%) e no índice de velocidade de germinação (3.2). Em outro estudo de queimada experimental no Pantanal, onde as espécies ripárias *Sesbania virgata* e *Guazuma ulmifolia* var. *tomentosa* (H.B.K.) K. Schum foram expostas ao fogo por 5 minutos, Soares *et al.* (2021) relataram a morte das sementes das duas espécies dispostas na superfície do solo, contudo, cerca de 90% das sementes se mantiveram viáveis enterradas a 2 cm no solo. Além disso, foi constatado que as temperaturas registradas nessa profundidade, variaram de 50 a 55

°C, proporcionando um aumento na germinação de cerca de 19% em comparação com 6% das sementes controle para *S. virgata*.

As altas temperaturas no fogo podem estimular a germinação por induzir a quebra dos revestimentos da semente, facilitando assim a subsequente embebição do embrião e expansão da radícula (Herranz *et al.* 1998). Neves e Miranda (1996) observaram no bioma Cerrado que a temperatura da superfície do solo chegou a $279 \pm 97^{\circ}\text{C}$, enquanto a 1cm de profundidade a mais alta temperatura foi de 55°C durante incêndio prescrito. Estudos de fogo prescrito foram realizados na fazenda Tanguro, localizada no estado do Mato Grosso, conduzindo um experimento de incêndio em 150 ha divididos em três transectos de 50 ha com biomassa seca de 130 kg, Balch *et al.* (2013), registraram no início do experimento valores de 273°C na superfície do solo e 128°C a 2 cm abaixo do solo. Em experimento com queima de baixa intensidade para avaliar germinação, como o observado por Meneses e Rossi (2011) no estado de São Paulo, e por Soares *et al.* (2021) no Pantanal, a temperatura não ultrapassou 60°C a 2 cm no solo. Para a Amazônia, a literatura relacionada a temperatura no solo no momento da queima é nula. Embora a temperatura não tenha sido registrada para *A. jauari* no momento da queima, o aumento significativo da germinação em relação ao tratamento controle nos leva a inferir que os limiares de temperatura que afetam a germinação para espécie foram atingidos.

Algumas combinações de temperatura, tempo de exposição e quantidade do material combustível podem quebrar a dormência das sementes e acelerar a germinação (Meneses e Rossi 2011; Ribeiro *et al.* 2012). O tempo em que a germinação e a emergência das plântulas ocorrem geralmente determinam seu desempenho e sucesso, e esses fatores, juntamente com o estabelecimento precoce, podem ser de extrema importância quando a competição por luz é intensa à medida que a densidade de plantas aumenta (Harper, 1977; Miller *et al.* 1944).

Nos ambientes de igapó, a velocidade da germinação é crucial uma vez que as condições ambientais como temperatura e umidade do solo propícios a germinação é temporalmente limitada, pois as plantas precisam se estabelecer durante a curta fase terrestre, para garantir a sobrevivência no período de alagamento (Parolin *et al.* 2004). Entretanto, para a maioria das palmeiras a emergência de plântulas é dificultada e a germinação é lenta e irregular, dadas as limitações à embebição e à difusão de oxigênio impostas pelo resistente endocarpo (Souza *et al.* 2014). Então, como *A. jauari* forma estandes densos e monoespecíficos em várias áreas de igapó no Rio Negro?

A rápida germinação observada para os diásporos de *A. jauari* submetidos ao tratamento de fogo sugere que eventos de fogo em áreas de igapó podem aumentar o sucesso reprodutivo dessa espécie. Isso pode conferir vantagens competitivas a *A. jauari* em relação a espécies coexistindo com essa palmeira e que, embora também altamente tolerantes à inundação, podem não possuir a mesma resistência ao fogo, como *Malouetia furfuracea* Benth. ex Müll.Arg., *Coccoloba pixuna* Huber e *Nectandra amazonum* Nees encontradas por Piedade *et al.* (2005) nas ilhas Anavilhanas. De fato, em áreas queimadas na região de Barcelos, em períodos secos prolongados na década de 1990, Flores *et al.* (2014) observaram uma alta mortalidade de árvores ($91\% \pm 8\%$) e uma baixa regeneração, analisando 15 cicatrizes de incêndios. Entretanto, nas áreas monitoradas no estudo de Flores, não foram citadas palmeiras, por não estarem presentes, ou não terem sido incluídas nos censos da vegetação.

Nesse sentido, podemos sugerir duas estratégias distintas em termos de eficiência quanto à expansão da área local de distribuição de *A. jauari* ao longo dos igapós do rio Negro. Em áreas onde incêndios podem ocorrer apenas ocasionalmente, como nas ilhas do arquipélago de Anavilhanas, as densidades de jauari podem ser consideradas relativamente modestas (250 ind. ha^{-1} ; Piedade *et al.* 2003). O estabelecimento sem fogo nessa área resulta em uma baixa densidade de plântulas (6 a 9 ind.m^{-2}). Apesar de uma notável eliminação de plântulas nas fases iniciais, possivelmente devido à correnteza, com os jovens acima de 5 m correspondendo a apenas $0,02 \text{ ind.m}^{-2}$ da população regenerante nessa área, foi calculado um valor potencial de 200 palmeiras por hectare alcançando a fase adulta (Piedade 1985). Contudo, na região de Barcelos, onde os incêndios são intensos e frequentes (Flores *et al.* 2014), em ilhas bem estruturadas do arquipélago do Mariuá, a densidade de *A. jauari* pode chegar a até $2.000 \text{ ind. ha}^{-1}$ (Piedade *et al.* 2016).

Analisando os tratamentos em casa de vegetação conduzidos no presente estudo, essas duas estratégias são confirmadas. Para os diásporos controle, não submetidos ao tratamento de fogo, a germinação ficou abaixo de 20%, mas se estendeu ao longo de todo o tempo do experimento. Nos diásporos que passaram pelo pré-tratamento de fogo a germinação foi mais que o dobro, em torno de 50%, e a velocidade de germinação foi maior. Com base nos dados de distribuição das plantas em áreas não incendiadas nas Anavilhanas (Piedade *et al.* 2016), o estabelecimento foi bem-sucedido, ainda que mais lento. Possivelmente, após o alagamento, a temperatura elevada do período de seca desempenha um papel fundamental na quebra da dormência e germinação, pois a variação na temperatura limite de quebra de dormência também é um mecanismo para garantir a persistência populacional (Liyanage e Ooi 2015). Os efeitos

positivos da embebição de sementes foram também observados para outras palmeiras, como *A. aculeatum* (tucumã) (Ferreira e Gentil 2006); *Copernicia prunifera* Moore (Silva *et al.* 2009); *Copernicia alba* (Fava e Albuquerque 2011).

Embora o fogo seja evidentemente um fator que acelera a germinação e potencialmente o adensamento das populações, nem todas as áreas de ocorrência de *A. jauari* foram submetidas ao fogo, de forma que é importante considerar outros aspectos, embora, possivelmente, muitos atuem em sinergia. A exposição das sementes a períodos inundados pode ajudar a superar a dormência de algumas espécies que habitam áreas sazonalmente alagadas, favorecendo a germinação logo após a inundação (Crawford 2003). Após o alagamento no ambiente natural, as sementes respondem ao estímulo das flutuações diárias da temperatura na superfície do solo para assegurar o sucesso germinativo. É possível que perturbações ambientais possam também criar condições de aumento de temperatura e luz propícios ao sucesso no estabelecimento. Por exemplo, *A. jauari* dominou o estrato regenerante em 10 clareiras naturais resultantes da queda de árvores no Tarumã-Mirim (Ferreira e Almeida 2005). No estudo de Rocha *et al.* (2020), três áreas de igapó foram analisadas em seu extrato regenerante, com destaque para *A. jauari*. Na região da RDS Uatumã a espécie ocorreu apenas nas cotas altas do rio Abacate, considerado pristino, enquanto no rio Uatumã, a jusante da hidrelétrica de Balbina, sua ocorrência está restrita às cotas intermediárias, onde plântulas de *A. jauari* dominaram. Como levantamentos anteriores ao fechamento da barragem não registraram a presença de adultos ou jovens desta espécie na área, provavelmente essa colonização é recente e pode se expandir. Por outro lado, no PARNA Jaú, onde incêndios são frequentes, *A. jauari* foi encontrado nas cotas alta e baixa da planície inundável.

Em estudo realizado no pantanal, analisando o efeito da inundação e do fogo ou a sua interação em 39 espécies de árvores, Arruda *et al.* (2016) concluíram que as espécies respondem das mais variadas formas. Dentre as espécies estudadas, cinco mudaram sua faixa de ocorrência em áreas queimadas para uma posição mais alta e 15 espécies foram consideradas indicadoras para pelo menos uma combinação dos fatores, tempo de inundação, fogo ou sua interação. Estudos recentes sobre interação do fogo e inundação em áreas do Pantanal, reportam o favorecimento da monodominância da espécie *Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. & Hook.f. ex S. Moore sobre 35 espécies presentes no ambiente (Manrique-Pineda *et al.* 2021). Em outro estudo relacionando a monodominância da espécie *Attalea phalerata* Mart. ex Spreng., realizado por Rivaben *et al.* (2021), os autores concluíram que a presença de ambos os

processos, fogo e inundação, aumentam a abundância dessa palmeira em zonas inundáveis, e sem a presença do fogo a expansão da espécie é inibida.

Assim, embora no ambiente natural a janela de tempo para a germinação seja limitada para *A. jauari*, a espécie demonstra a capacidade de germinar em locais com vários tipos de perturbação, embora o fogo se mostre um indutor de maior eficácia. Isto permite confirmar nossa primeira hipótese de que o fogo favorece a germinação de jauari. Como a palmeira produz em média 4 cachos, cada um deles com cerca de 110 frutos, mesmo que haja perda de um percentual de propágulos que não encontrem a sinergia entre profundidade e temperatura ideais, o sucesso reprodutivo após eventos de fogo é assegurado, o que é confirmado pelos extensos grupamentos monoespecíficos de jauari no rio Negro, especialmente na região de Barcelos (Piedade *et al.* 2006).

O cenário climático extremo exerceu uma influência significativa, induzindo a germinação tanto nos diásporos tratados com fogo como nos diásporos controle. Este efeito não foi verificado nos cenários brando e intermediário com CO₂ acima de 400 ppm. Na verdade, os efeitos de germinação de sementes em resposta à temperatura e à concentração de CO₂ variam dependendo da espécie. Segundo Kim e Han (2018) vários fatores parecem estar envolvidos nessa variação, dentre eles a estrutura morfológica da semente, o tipo de dormência, o substrato de germinação e as temperaturas ótimas de germinação. Para algumas espécies a resposta germinativa ao CO₂ enriquecido não é significativa em relação a população controle, mesmo em temperatura mais alta (Lopes *et al.* 2015; Silva *et al.* 2017). Nos estudos de Ziska e Bunce (1993), as concentrações de CO₂ relativamente altas (700ppm) e temperatura em torno de 30 °C resultaram em um aumento na taxa e porcentagem final de germinação para *Medicago sativa* L., *Amaranthus hybridus* L., e *Chenopodium album* L.

Considerando os resultados dos microcosmos, aparentemente a temperatura parece ser o fator mais determinante na expansão da área de abrangência e dominância de jauari, tomando como base a germinação e o estabelecimento inicial das plântulas. Desta forma, a segunda hipótese postulada foi apenas parcialmente confirmada, pois somente no cenário extremo houve respostas em termos do aumento da germinação. As sementes de várias espécies apresentam comportamento variável em relação a temperatura adequada para germinação (Broschat, 2015). Segundo Lorenzi *et al.* (2004), para as espécies da família Arecaceae as temperaturas ideais para germinação podem variar de 24 até 35 °C. A temperatura afeta a velocidade de absorção de água e a reativação das reações metabólicas, fundamentais aos processos de mobilização de reservas e a retomada de crescimento da raiz primária (Bewley e Black, 1994). Assim, a

temperatura ideal para a germinação é diretamente associada as características fisiológicas da espécie (Larcher, 2006).

Para *A. jauari* a temperatura elevada aumentou a germinação, sugerindo que as altas temperaturas nos igapós impactados pelo fogo podem favorecer a germinação e a dominância da espécie. Em um cenário de mudanças do clima com incêndios mais frequentes, o ajuste fisiológico de *Astrocaryum jauari* às condições do ambiente, o efeito positivo da germinação em alta temperatura combinada à atmosfera enriquecida pode influenciar o estabelecimento das plântulas. A intensidade do fogo e a profundidade na qual os diásporos se encontram no solo vai influenciar diretamente o sucesso da espécie, permitindo sua monodominância em áreas de igapó impactadas pelo fogo.

CONCLUSÃO

A germinação de *Astrocaryum jauari* é influenciada pela temperatura, profundidade no solo durante a passagem do fogo. Os diásporos, quando abaixo do solo, são estimulados a germinar mais rapidamente e ampliam a faixa de temperatura adequada para a germinação, o que garante a emergência de plântulas em condições favoráveis ao estabelecimento, como baixo nível de competição e alta disponibilidade de recursos em ambientes pós-fogo.

A germinação não é inibida pela elevação da temperatura. Em vez disso, as mudanças climáticas podem aumentar a sobrevivência dessa espécie, aumentando a porcentagem de germinação o que pode resultar no aumento de sua monodominância em outras áreas. Desta forma, *Astrocaryum jauari* poderá ampliar sua distribuição afetando negativamente outras espécies. Portanto, novos estudos sobre o seu estabelecimento em campo são necessários para testar a eficácia das estratégias sugeridas neste trabalho para *A. jauari* em florestas inundáveis.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela concessão da bolsa de estudos. Ao Grupo de Monitoramento de Áreas Úmidas - MAUA, INCT ADAPTA, ao projeto Peld-MAUA (CNPq/FAPEAM), ao projeto ATTO – BMBF (contract 01LK1602) e Laboratório de Genética e Evolução Molecular (LEMM), pelo suporte financeiro, equipamentos e infraestrutura destinada à pesquisa. Aos técnicos do MAUA, Valdeney Azevedo, Celso Rabelo, a Elizabeth Rebouças pelo auxílio nas coletas de dados, ao Kleuto pela ajuda na coleta dos diásporos de jauri, e aos técnicos do LEEM, Danilo e Rogério pelo apoio técnico nos microcosmos.

Bibliografia citada

- Alencar, A.A.; Brando, P.M.; Asner, G.P.; Putz, F.E. 2015. Landscape fragmentation, severe drought, and the new Amazon Forest fire regime. *Ecological Applications*, 25: 1493-1505.
- Alencar, A.A.C.; Solórzano, L.A.; Nepstad, D.C. 2004. Modeling forest understory fires in an eastern amazonian landscape. *Ecological Applications*, 14: 139-149.
- Alvares, C.A.; Satape, J.L.; Sentelhas, P.C.; de Moraes, G.; Leonardo, J.; Sparovek, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22: 711-728.
- Arruda, W.D.S; Oldeland, J.; Paranhos Filho, A.C.; Pott, A.; Cunha, N.L.; Ishii, I.H. *et al.* 2016. Inundation and fire shape the structure of riparian forests in the Pantanal, Brazil. *PLoS ONE* 11: e0156825.
- Auld, T.D. 1986. Population dynamics of the shrub *Acacia suaveolens* (SM) Willd- Fire and the transition to seedlings. *Australian Journal of Ecology*, 11: 373-385.
- Auld, T.D.; O'Connell, M.A. 1991. Predicting patterns of post-fire germination in 35 eastern Australian Fabaceae. *Austral Ecology*, 16: 53-70.
- Bagley, J.E.; Desai, A.R.; Harding, K.J.; Snyder, P.K.; e Foley, J.A. 2014. Drought and Deforestation: Has land cover change influenced recent precipitation extremes in the Amazon? *Journal of Climate*, 27: 345-361.
- Balch, J.K.; Massad, T.J.; Brando, P.M.; Nepstad, D.C.; Curran, L.M. 2013. Effects of high-frequency understory fires on woody plant regeneration in southeastern Amazonian forests. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 368: 1619-20120157.
- Barlow, J.; Peres, C.A. 2008. Fire-mediated dieback and compositional cascade in an Amazonian Forest. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363: 1787-1794
- Bewley, J.D.; Black, M 1994. *Seeds: physiology of development and germination*. New York, Plenum Press, 445p.
- Bewley, JD; Bradford, KJ; Hilhorst, HWM; Nonogaki, H 2013. Dormancy of the Control of Germination *Seeds: Physiology of development germination and dormancy*. 2^a ed. Springer, New York LLC, 392p.
- Boer, J.E.W. 1965. Palmae. In:Ianjoux, J. (Ed.) Flora do Suriname. Vol.5. parte1. Leiden, EJ.

- Brill, p.125-141.
- Brando, P.M.; Soares-Filho, B.; Rodrigues, L.; Assunção, A.; Morton, D.; Tuschneide, D.; *et al.* 2020. The gathering firestorm in southern Amazonia. *Science Advances* 6: 246–1632.
- Broschat, T.K.(2015). Fertilization of landscape palms to reduce nitrogen phosphate impacts on environment. *HortScience*, 50:469–473.
- Cochrane, M.A. 2003 Fire science for rainforests. *Nature*, 42: 913–919.
- Cochrane, M.A.; Alencar, A.; Schulze, M.D.; Souza, C.M.; Nepstad, D.C.; Lefebvre, P.; *et al.* 1999. Positive feedbacks in the fire dynamic of closed canopy tropical forests. *Science*, 284: 1832–1835.
- Crawford, R.M.M. 2003. Seasonal differences in plant responses to flooding and anoxia. *Canadian Journal of Botany*, 12: 1224-1246.
- Daibes, L.F.; Zupo, T.M.; Silveira, F.A.O.; Fidelis, A. 2017. A field perspective on effects of fire and temperature fluctuation on Cerrado legume seeds. *Seed Science*, 27: 74-83.
- Dayamba, S.D.; Savadogo, P.; Zida, D.; Sawadogo, L.; Tiveau, D.; Oden, P.C. 2010. Fire temperature and residence time during dry season burning in a Sudanian savannawoodland of West Africa with implication for seed germination. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae*, 21: 445–450.
- Duffy, P.B.; Brando, P.; Asner, G.P.; Field, C.B. 2015. Projections of future nature meteorological drought and wet periods in the Amazon. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112: 13172–13177.
- Esquivel-Muelbert, A.; Baker, T.R.; Dexter, K.G.; Lewis, S.L.; Brienen, R.J.W.; Feldpausch, T.R.; *et al.* 2019. Compositional response of Amazon forests to climate change. *Global Change Biology*, 25: 39–56.
- Fava, C.L.F.; Albuquerque, M.C.F. 2011. Emergência de plântulas de *Copernicia alba* (Morong ex Morong e Britton) em função da escarificação mecânica e imersão de sementes em água corrente. *Revista Brasileira de Horticultura Ornamental*. Campinas, 17: 127–132.
- Fenner, M.; Thompson, K. 2005. *The ecology of the seeds*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, 250p.
- Ferreira, L.; Almeida, S.S. 2005. Relação entre a altura de inundação, riqueza específica de plantas e o tamanho de clareiras naturais em uma floresta inundável de igapó, na Amazônia Central. *Revista Árvore*, 29: 445-453.
- Ferreira, S.A. do N.; Gentil, D.F.O. 2006. Extração, embebição e germinação de sementes de tucumã (*Astrocaryum aculeatum*). *Acta Amazonica*, 36:141-146.
- Ficklin, D.L.; Novick, K.A. 2017. Historic and projected changes in vapor pressure deficit

- suggest a continental-scale drying of the United States atmosphere. *Journal Geophysics*, 122: 2061-2079.
- Flores, B.M.; Holmgren, M.; Xu, C.; Van Nes, E.H.; Jakovac, C.C.; Mesquita, R.C.G.; *et al.* 2017. Floodplains as an Achilles' heel of Amazonian forest resilience. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114: 4442–4446.
- Flores, B.M.; Piedade, M.T.F.; Nelson, B.W. 2014. Fire disturbance in Amazonian blackwater floodplain forests. *Plant Ecology and Diversity*, 7: 319–327.
- Harper, J.L. 1977. Population biology of plants, Academic Press, New York, New York, USA., 892p.
- Henderson-Sellers, A.; McGuffie, K. 2012. *The future of the world's climate*. 2^a ed. Editora Elsevier, New York, 666p.
- Herranz, J.M.H.; Ferrandis, P.; Martínez-Sánchez, J.J. (1998) Influence of heat on seed germination of seven Mediterranean Leguminosae species. *Plant Ecology*, 136: 95–103.
- IPCC 2007. Climate change 2007: the physical science basis. In: *Contribution of Working Group I to the 4th Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Solomon. S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., e Miller, H.L. (Eds). IPCC, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 1–996p.
- Kim, D.H, Han, S.H. 2018. Direct effects on seed germination of 17 tree species under elevated temperature and CO₂ conditions. *Open Life Science*, 13:137–148.
- Larcher, W. 2006. *Ecofisiologia Vegetal*. RiMa. São Carlos-SP, 550 p.
- Liesenfeld, M.V.A. 2014. *Efeitos do fogo de superfície experimental na ecologia de palmeiras (Arecaceae) de sub-bosque em uma floresta na Amazônia Ocidental*. Tese de doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus. Amazonas. 234p
- Liesenfeld, M.V.A.; Vieira, G. 2018. Brote posfuego de la palma en el bosque amazónico: ¿son los tallos subterráneos una ventaja? Perspectiva. *Rural Nueva Época*, 16:11–23.
- Liyanage, G.S.; Ooi M.K.J. 2015. Intra-population level variation in threshold for physical dormancy-breaking temperature. *Annals of Botany*, 116: 123-131.
- Liyanage, G.S.; Ooi, M.K.J. 2017. Do dormancy-breaking temperature thresholds change as seeds age in the soil seed bank? *Seed Science*, 27: 1–11.
- Lopes, A.; Ferreira, A.B.; Pantoja, P.O.; *et al.* 2015. Combined effect of elevated CO₂ level and temperature on germination and initial growth of *Montrichardia arborescens* (L.) Schott (Araceae): a microcosm experiment. *Hydrobiologia*, 814:19–30.
- Lorenzi, H.; Souza, H.M.; Cerqueira, L.S.C.; Ferreira, E.; Costa, J.T.M. 2004. *Palmeiras*

- brasileiras e exóticas cultivadas*. 1^a ed. Pantarum, Nova Odessa, 272p.
- Lovejoy, T.; Nobre, C. 2019 T.E. Lovejoy, C. Nobre. Amazon tipping point: last chance for action *Sci. Adv.*, 5 (12) doi:10.1126/sciadv.aba2949.
- Marengo, J.; Betts, R.; Nobre, C.; Kay, G.; Chan Chou, S.; Tomasella, J.; *et al.* 2011. *Dangerous Climate Change in Brazil, A Brazil-UK Analysis of Climate Change and Deforestation Impacts in the Amazon*. Sao Jose dos Campos: INPE, 54p.
- Marengo, J.A.; Espinoza, J.C. 2016. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. *International Journal of Climatology*, 36: 1033–1050.
- Manrique-Pineda, D.A.; Souza, E.B.; Paranhos-Filho, A.C.; Encina, C.C.C.; Damasceno-Junior, G.A. 2021. Fire, Flood and monodominance of *Tabebuia aurea* in Pantanal. *Forest Ecol. Manag.* 479, 118599
- Meggers, B.J. 1994. Archeological evidence for the impact of mega-Niño events on Amazonia during the past two millennia. *Climatic Change*, 28: 321–338.
- Menezes, L.C.C.R., Rossi, M.N. 2011. Seed germination after fire: a study with a plant inhabiting non-fire-prone areas. *Phyton–Int. Journal Experimental Botany*, 80: 153–160.
- Miller, T. E.; Winn, A.A.; Schemske, D.W. Schemske. 1994. The effects of density and spatial distribution on selection for emergence time in *Prunella vulgaris* (Lamiaceae). *American Journal of Botany*, 81:1–6.
- Moreira, B.; Tormo, J.; Estrelles, E.; Pausas, J.G. 2010. Disentangling the role of heat and smoke as germination cues in Mediterranean Basin flora. *Annals of Botany*, 105: 627–635.
- Miranda A.C.; Miranda H.S.; Dias, I.F.O.; Dias B.F.S. 1993. Soil and air temperatures during prescribed Cerrado fires in Central Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, 9: 313–320.
- Morton, D.C.; Le Page, Y.; DeFries, R.; Collatz, G.J.; Hurtt, G.C. 2013. Understorey fire frequency and the fate of burned forests in southern Amazonia. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 368: 1–8.
- Nelson, B.W. 2001. Fogo em florestas da Amazônia Central em 1997. *Anais X SBSR*: p.1675–1682.
- Nelson, B.W.; Irmao, M.N. 1998. Fire penetration in standing Amazon forests. *Anais IX Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*: p.1471–1482.
- Neves B.M.C.; Miranda, H.S. 1996. Efeitos do fogo no regime térmico do solo de um campo sujo de cerrado. In: Miranda H.S., Saito C.H., Dias B.F.S.(Orgs), *Impactos de queimadas em Areas de Cerrado e Restinga*, Universidade de Brasília, Brasília, p, 20–

30.

- Ooi, M. K. J. 2007. Dormancy classification and potential dormancy-breaking cues for shrub species from fire-prone south-eastern Australia. In S. W. Adkins. S.Ashmore, SC Navie, ed. CABI Publishing. *Seed: biology, development and ecology*. Wallingford, p.205–216.
- Ooi, M.K.J.; Denham, A.J.; Santana, V.M.; Auld, T.D. 2014. Temperature thresholds of physically dormant seeds and plant functional response to fire: variation among species and relative impact of climate change. *Ecology and Evolution*, 4: 656–671.
- Parolin, P.; De Simone, O.; Haase, K.; Waldhof, D.; Rottenberger, S.; Kuhn, U.; Kesselmeier, J.; Schmidt, W.; Piedade, M.T.F. Junk, W.J. 2004. Central Amazon floodplain forests: tree survival in a pulsing system. *The Botanical Review*, 70: 357–380.
- Peres, C. A. 1999. Ground fires as agents of mortality in a Central Amazonian forest. *Journal of Tropical Ecology*, 15: 535–541.
- Piedade, M. T. F. 1985. *Ecologia e biologia reprodutiva de Astrocaryum jauari Mart. (Palmae) como exemplo de população adaptada às áreas inundáveis do rio Negro (igapós)*. Dissertação de Mestrado Ecologia, INPA, Manaus.
- Piedade, M.T.F.; Parolin, P.; Junk, W.J. 2003. Estratégias de dispersão, produção de frutos e extrativismo da palmeira *Astrocaryum jauari* Mart. nos igapós do Rio Negro: implicações para a ictiofauna. *Ecología Aplicada*, 2: 32–40.
- Piedade, M.T.F.; Junk, W.J.; Adis, J.; Parolin, P. 2005. Ecologia, zonação e colonização da vegetação arbórea das Ilhas Anavilhanas. *Pesquisa Botânica*. 58: 117–144.
- Piedade, M.T.F.; Parolin, P.; Junk, W.J. 2006. Phenology, fruit production and seed dispersal of *Astrocaryum jauari* (Arecaceae) in Amazonian black water floodplains. *Revista de Biologia Tropical*, 54: 1171–1178.
- Piedade, M.T.F.; Junk, W.J.; Wittmann, F.; Lopes, A.; Weiss, B.; Schöngart, J 2016. Dinâmica de populações, ecologia e estratégias de dispersão de *Astrocaryum jauari* no rio Negro, Amazônia Central, Brasil. In: *XIV. Morichales, Cananguchales Y Otros Palmares Inundables De Suramérica*, p.391- 404.
- Ribeiro, L.C.; Pedrosa, M.; Borghetti, F. 2012. Heat shock effects on seed germination of five Brazilian savanna species. *Plant Biology*, 15: 152–157
- Ribeiro, L.C.; Barbosa, E.R.M.; Van Langevelde, F.; Borghetti, F. 2015. The importance of seed mass for the tolerance to heat shocks of savanna and forest tree species. *Journal Vegetal Science*, 26: 1102–1111.
- Rivaben, R.C.; Pott, A.; Bueno, M.L.; Parolin, P.; Cordova, M.O.; Oldeland, J.; Silva, R.H – Rocha, M., Feitosa, Y.O., Wittmann, F., Piedade, M.T.F., Resende, A. F.; Assis, R.L. (2020).

- River damming affects the seedling communities of a floodplain forest in the Central Amazon. *Acta Botânica Brasílica*, 34: 192–203.
- Romero-Gómez, N.A.; Meza, M.C.; González, T.; Armenteras, D. 2020. Resposta pós-fuego de la palma, *Astrocaryum jauari* Mart. nos bosques de galería de la Reserva Natural Bojonawi. In Lasso, CA; Trujillo, F; Morales-Betancourt, MA (Ed.). *Biodiversidad de la Reserva Natural Bojonawi, Vichada, Colômbia: rio Orinoco e planicie de inundación*. Bogotá, DC, Colombia, p.533-547.
- Sanford, R.L.; Saldarriaga, J.; Clark, K.E.; Uhl, C.; Herrera, R. 1985. Amazon rain-forest fires. *Science*, 227: 53–55.
- Santana, D.G.; Ranal, M.A. 2004 Análise da germinação: um enfoque estatístico. Brasília: Universidade de Brasília, 248p.
- Schimel, D.; Ives, D.; Enting, I.; Heimann, M.; Joos, F.; Raynaud, D.; Wigley. 1996 CO₂ and the carbon cycle. In *Climate Change 1995*. (eds J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B.A. Callendar, N. Harris, A. Kattenberg & K. Maskell), IPCC, Cambridge University Press, Cambridge, p. 65–131.
- Schlüter, U.B., Furch, B., Joly, C.A. 1993. Physiological and anatomical adaptations by young *Astrocaryum jauari* Mart. (Arecaceae) in periodically inundated biotopes of central Amazonia. *Biotropica*, 25:384–396.
- Silva, F.D.B. 2009. Pré embebição e profundidade da semente na emergência da *Copernicia prunifera* (Miller) H.E Moura. *Revista Ciência A-gronômica*, 40:272-278.
- Silva, F.F.S.; Oliveira, G.M.; Araújo, M.N; Angeloti, F. *et al.*; Moura, M.S.B.; Dantas, B.F. 2017. Rainfall events, high CO₂ concentration and germination seeds of Caatinga. *Journal Environmental Analysis and Progress*, 2:258–265.
- Soares, V.C.; Scremin-Dias, E.; Daibes, L. F.; Damasceno-Junior, G. A., Pott, A., & de Lima, L. B. 2021). Fire has little to no effect on the enhancement of germination, but buried seeds may survive in a Neotropical wetland. *Flora*, 278 : 151801.
- Souza, A.L.; De Fátima Sales, J.; Campos, R.C.; Neto, A.R.; Silva, F.G. 2014. Superação da dormência de sementes de Tucum (*Astrocaryum huaimi* Mart.). *Semina:Ciencias Agrarias*, 35: 749 –757.
- Souza, L.L. 2008. Frugivoria E Dispersão De Sementes Por Peixes Na Reserva De Desenvolvimento Sustentável Amanã. *Uakari*, 1: 7–18.
- Uhl, C.; Clark, K.; Clark, H.; Murphy, P. 1981. Early Plant Succession after Cutting and Burning in the Upper Rio Negro Region of the Amazon Basin. *The Journal of Ecology*,

69: 631–649.

Uhl, C.; Kauffman, J.B. 1990. Deforestation , Fire Susceptibility , and Potential Tree Responses to Fire in the Eastern Amazon: Published by : Ecological Society of America Stable. *Ecology*, 71: 437–449.

Whelan, R.J. 1995. *The ecology of fire*. Cambridge University Press, Cambridge, 360p.

Ziska, L. H.; Bunce, J. A. 1993. The influence of elevated CO₂ and temperature on seed germination and emergence from soil. *Field Crops Research*, 34: 147–157.

APÊNDICE: A

Tabela suplementar 1: Tabela com os valores de probabilidade do teste Tukey entre os cenários climáticos para cada índice de germinação, sendo: G (%) – Porcentagem de Germinação; IVG - índice de velocidade de germinação (em dias) e TMG - tempo médio da germinação e Cveg –Casa de Vegetação; S1 sala 1 - cenário climático atual; S2 –sala 2 - cenário brando (T=2,5°C; Co₂= 200 ppm acima do atual); S3 –sala 3 – cenário intermediário (T=4,5°C; Co₂= 400 ppm acima do atual S4 –sala 4 – cenário extremo (T=4,5°C; Co₂= 850 ppm acima do atual).

Cenários Climáticos	G%	TMG (dias)	IVG
S1-Cveg	0.96	1.00	0.78
S2-Cveg	0.24	0.97	0.16
S3-Cveg	0.94	0.65	1.00
S4-Cveg	0.00	0.00	0.00
S2-S1	0.60	0.96	0.75
S3-S1	0.57	0.58	0.83
S4-S1	0.00	0.00	0.00
S3-S2	0.04	0.94	0.17
S4-S2	0.00	0.00	0.00
S4-S3	0.00	0.03	0.00

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aragão, L.E.O.C.; Anderson, L.O.; Fonseca, M.G.; Rosan, T.M.; Vedovato, L.B.; Wagner, F.H. 2018. 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. *Nature Communications*, 9: 1–12.
- Balch, J.K.; Massad, T.J.; Brando, P.M.; Nepstad, D.C.; Curran, L.M. 2013. Effects of high-frequency understory fires on woody plant regeneration in southeastern Amazonian forests. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 368: 1619–20120157.
- Barlow, J.; Silveira, J.M.; Mestre, L.A.M.; Andrade, R.B.; Camacho D’Andrea, G.; Louzada, J.; *et al.* 2012. Wildfires in bamboo-dominated Amazonian forest: Impacts on above-ground biomass and biodiversity. *PLoS ONE* 7: e33373.
- Bicalho, E.M.; Rosa, B.L.; Souza, A.E. de; Rios, C.O.; Pereira, E.G. 2016. Do the structures of macaw palm fruit protect seeds in a fire-prone environment? *Acta Botanica Brasilica*, 30: 540–548.
- Bond, W.J.; Midgley, J.J. 2003. The Evolutionary Ecology of Sprouting in Woody Plants. *International Journal of Plant Sciences*, 164: 103–114.
- Bond, W.J.; Keeley, J.E. 2005. Fire as a global “herbivore”: The ecology and evolution of flammable ecosystems. *Trends in Ecology and Evolution*, 20: 387–394.
- Braga, P.I.S. 1979. Subdivisão fitogeográfica, tipos de vegetação, conservação e inventário florístico da floresta amazônica. *Acta Amazonica*, 9: 53–80.
- Cardoso, D.; Särkinen, T.; Alexander, S.; Amorim, A.M.; Bittrich, V.; Celis, M.; *et al.* 2017. Amazon plant diversity revealed by a taxonomically verified species list. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114: 10695–10700.
- Carvalho Jr, J.; Veras, C. A. G.; Alvarado, E.; Sandberg, D.; Leite, S.; Gielow, R.; *et al.* . 2010. Understorey fire propagation and tree mortality on adjacent areas to an Amazonian deforestation fire. *International Journal of Wildland Fire*, 19: 795–799.
- Chuvieco, E.; Giglio, L.; Justice, C. 2008. Global characterization of fire activity: Toward defining fire regimes from Earth observation data. *Global Change Biology*, 14: 1488–1502.
- Cirne, P.; Miranda, H.S. 2008. Effects of prescribed fires on the survival and release of seeds of *Kielmeyera coriacea* (Spr.) Mart. (Clusiaceae) in savannas of Central Brazil. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 20: 197–204.

- Cochrane, M.A.; Alencar, A.; Schulze, M.D.; Souza, C.M.; Nepstad, D.C.; Lefebvre, P.; *et al.* 1999. Positive feedbacks in the fire dynamic of closed canopy tropical forests. *Science*, 284: 1832–1835.
- Davidson, E.A.; Araújo, A.C.; Artaxo, P.; Balch, J.K.; Brown, I.F.; Mercedes, M.M.; *et al.* 2012. The Amazon basin in transition. *Nature*, 481: 321–328.
- Ferreira, S.A. do N.; Gentil, D.F.O. 2006. Extração, embebição e germinação de sementes de tucumã (*Astrocaryum aculeatum*). *Acta Amazonica*, 36:141-146.
- Fichino, B.S.; Dombroski, J.R.G.; Pivello, V.R.; Fidelis, A. 2016. Does Fire Trigger Seed Germination in the Neotropical Savannas? Experimental Tests with Six Cerrado Species. *Biotropica*, 48: 181–187.
- Flores, B.M.; Holmgren, M.; Xu, C.; Van Nes, E.H.; Jakovac, C.C.; Mesquita, R.C.G.; *et al.* 2017. Floodplains as an Achilles' heel of Amazonian forest resilience. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114: 4442–4446.
- Flores, B.M.; Piedade, M.T.F.; Nelson, B.W. 2014. Fire disturbance in Amazonian blackwater floodplain forests. *Plant Ecology and Diversity*, 7: 319–327.
- Furch, K.; Junk, W.J. 1997. The chemical composition, food value and decomposition of herbaceous plants and leaf-litter of the floodplain forest. In: Junk, W.J. (Ed). *The Central Amazon floodplain: ecology of a pulsing system*. Ecolog. Stud. v. 126. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York, p, 187–206.
- Gashaw, M.; Michelsen, A. 2002. Influence of heat shock on seed germination of plants from regularly burnt savanna woodlands and grasslands in Ethiopia. *Plant ecology*, 159: 83–93.
- Hanley, M.E.; Unna, J.E.; Darvill, B. 2003. Seed size and germination response: A relationship for fire-following plant species exposed to thermal shock. *Oecologia*, 134: 18–22.
- .
- Higuchi, N. 2006. O desmatamento insustentável na Amazônia. *Ciência Hoje*, v. 39. n. 232, p.67–71.
- Hnatiuk, R.J. 1977. Population structure of *Livistona eastonii* Gardn., Mitchell Plateau, Western Australia. *Australian Journal of Ecology*, 2: 461–466.
- Junk, W.J.; Bayley, P.B.; Sparks, R.E. 1989. The flood pulse concept in river-floodplain-systems. In: Dodge, D.P. (ed): *Proceedings of the international Large River Symposium*. Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences, p.110–127.
- Junk, W.J.; Piedade, M.T.F.; Schöngart, J.; Cohn-Haft, M.; Adeney, J.M.; Wittmann, F. 2011. A classification of major naturally-occurring amazonian lowland wetlands. *Wetlands*,

- 31: 623–640.
- Junk, W.J.; Wittmann, F.; Schöngart, J.; Piedade, M.T.F. 2015. A classification of the major habitats of Amazonian black-water river floodplains and a comparison with their white-water counterparts. *Wetlands Ecology and Management*, 23: 677–693.
- Kahn, F. 1986. Life forms of Amazonian palms in relation to forest structure and dynamics. *Biotropica*, 18: 214–218.
- Kahn, F.; Granville, J. 1992. Palms in *Forest Ecosystems of Amazonia*. Springer Verlag, Heidelberg, 226p.
- Keeley, J.E. 2005. Fire as a threat to biodiversity in fire-type shrublands. *Planning for biodiversity: bringing research and management together. USDA Forest Service General Technical Report PSW-GTR*, 195: 97-106.
- Liesenfeld, M.V.A. 2014. *Efeitos do fogo de superfície experimental na ecologia de palmeiras (Arecaceae) de sub-bosque em uma floresta na Amazônia Ocidental*. Tese de doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus. Amazonas. 234p
- Liesenfeld, M.V.A.; Vieira, G. 2018. Brote posfuego de la palma en el bosque amazónico: ¿son los tallos subterráneos una ventaja? *Perspectiva. Rural Nueva Época*, 16:11–23.
- Malhi, Y.; Saatchi, S.; Girardin, C; Aragão, L.E.O.C. 2009. The production, storage, and flow of carbon in Amazonian forests. *Geophysical Monograph*, 186: 355-371.
- Magnago, L.F.S; Martins, S.V; Venzke, T.S; Ivanauskas, N.M. 2012. Os processos e estágios sucessionais da Mata Atlântica como referência para a restauração florestal. In: Martins, SV. Ed.UFV. *Restauração ecológica de ecossistemas degradados*, Viçosa, p.69–100.
- Marengo, J. A. 2007. *Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI*. (2nd ed.) Biodiversidade Série 26. Brasil, Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas. 212p.
- Marengo, J.A.; Souza, C.M.; Thonicke, K.; Burton, C.; Halladay, K.; Betts, R.A.; *et al.* 2018. Changes in climate and land use over the Amazon region: Current and future variability and trends. *Frontiers in Earth Science*, 228: 1–21.
- Meggers, B.J. 1994. Archeological evidence for the impact of mega-Niño events on Amazonia during the past two millennia. *Climatic Change*, 28: 321–338.
- Melack, J. M.; Hess, L. L. 2010. Remote sensing of the distribution and extent of wetlands in the Amazon basin. In: Junk, W. J.; Piedade, M. T. F.; Wittmann, F.; Schöngart, J.; Parolin, P. (Eds). *Central Amazonian floodplain forest: ecophysiology, biodiversity and sustainable management*. v. 210. Springer, New York, p. 43–60.

- Morton, D.C.; Le Page, Y.; DeFries, R.; Collatz, G.J.; Hurtt, G.C. 2013. Understorey fire frequency and the fate of burned forests in southern Amazonia. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 368: 1–8.
- Moura, EG 2002. (Org.) *Agroambientes de transição: entre o trópico úmido e semi-árido maranhense*. São Luis: UEMA, 300p.
- Nepstad, D.; Carvalho, G.; Barros, A.C.; Alencar, A.; Capobianco, J.P.; Bishop, J.; *et al.* 2001. Road paving, fire regime feedbacks, and the future of Amazon forests. *Forest Ecology and Management*, 154: 395–407.
- Nepstad, D.; Lefebvre, P.; Da Silva, U.L.; Tomasella, J.; Schlesinger, P.; Solórzano, L.; *et al.* 2004. Amazon drought and its implications for forest flammability and tree growth: A basin-wide analysis. *Global Change Biology*, 10: 704–717.
- Nobre, C.A.; Sampaio, G.; Borma, L.S.; Castilla-Rubio, J.C.; Silva, J.S.; Cardoso, M. 2016. Land-use and climate change risks in the amazon and the need of a novel sustainable development paradigm. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113: 10759–10768.
- Oliveira, A.N.; Amaral, I.L. 2004. Florística e fitossociologia de uma floresta. *Acta Amazonica*, 34: 21–34.
- Oliveira, T.G.S.; Rodrigues, A.G.; de Souza, P.P.; Ribeiro, L.M. 2013. Use of phytohormones in overcoming macaw palm seed dormancy. *Acta Scientiarum – Agronomy*, 35: 505–511.
- Overbeck, G.E.; Müller, S.C.; Pillar, V.D.; Pfadenhauer, J. 2006. No heat-stimulated germination found in herbaceous species from burned subtropical grassland. *Plant Ecology*, 184: 237–243.
- Pausas, J.G.; Keeley, J.E. 2009. A Burning Story: The Role of Fire in the History of Life. *BioScience*, 59: 593–601.
- Pausas, J.G.; Ribeiro, E. 2013. The global fire-productivity relationship. *Global Ecology and Biogeography*, 22: 728–736.
- Penna Filho, P. 2013. Reflexões sobre o Brasil e os desafios Pan-Amazônicos. *Revista Brasileira de Política Internacional*, 56: 94–111.
- Piedade, M.T.F.; Parolin, P.; Junk, W.J. 2003. Estratégias de dispersão, produção de frutos e extrativismo da palmeira *Astrocaryum jauari* Mart. nos igapós do Rio Negro: implicações para a ictiofauna. *Ecología Aplicada*, 2: 32–40.

- Piedade, M.T.F.; Junk, W.J.; Adis, J.; Parolin, P. 2005. Ecologia, zanação e colonização da vegetação arbórea das Ilhas Anavilhanas. *Pesquisa Botânica*, 58: 117–144.
- Piedade, M.T.F.; Parolin, P.; Junk, W.J. 2006. Phenology, fruit production and seed dispersal of *Astrocaryum jauari* (Arecaceae) in Amazonian black water floodplains. *Revista de Biologia Tropical*, 54: 1171–1178.
- Piedade, M.T.F.; Junk, W.J.; Wittmann, F.; Lopes, A.; Weiss, B.; Schöngart, J 2016. Dinâmica de populações, ecologia e estratégias de dispersão de *Astrocaryum jauari* no rio Negro, Amazônia Central, Brasil. In: *XIV. Morichales, Cananguchales Y Otros Palmares Inundables De Suramérica*, p.391- 404.
- Prance, G.T. 1979. Notes on the Vegetation of Amazonia III. The Terminology of Amazonian Forest Types Subject to Inundation. *Brittonia*, 31: 26-38.
- Quesada, C. A.; Phillips, O. L.; Schwarz, M.; Czimczik, C. I.; Baker, T. R.; Patiño, S. *et al.* 2012. Basin-wide variations in Amazon forest structure and function are mediated by both soils and climate, *Biogeosciences*, 9: 2203–2246.
- Resende, A.F.; Nelson, B.W.; Flores, B.M.; de Almeida, D.R. 2014. Fire damage in seasonally flooded and upland forests of the Central Amazon. *Biotropica*, 46: 643–646.
- Ribeiro, J.E.L.S; Hopkins, M.J.G.; Vicentini, A; Sothers, C.A.; Costa, M.A.S.; Brito, J.M.; Souza, M.A.D.; Martins, L.H.P.; Lohmann, L.G.; Assunção, P.A.C.L.; Pereira, E.C.; Silva, C.F.; Mesquita, M.R.; Procópio, L.C. 1999. Flora da Reserva Ducke: guia de identificação das plantas vasculares de uma floresta de terra-firme na Amazônia Central. Manaus: INPA, 816p.
- Ribeiro, L.C.; Barbosa, E.R.M.; Van Langevelde, F.; Borghetti, F. 2015. The importance of seed mass for the tolerance to heat shocks of savanna and forest tree species. *Journal Vegetal Science*, 26: 1102–1111.
- Ribeiro, L.M.; Souza, P.P.; Rodrigues-Jr, A.G.; Oliveira, T.G.S.; Garcia, Q.S. 2011. Overcoming dormancy in macaw palm diaspores, a tropical species with potential for use as bio-fuel. *Seed Science and Technology*, 39: 303–317.
- Rodd, A. 1998. Revision of *Livistona* (Arecaceae) in Australia. *Telopea*, 8: 49–153.
- Röder, A.; Hill, J.; Duguay, B.; Alloza, J.A.; Vallejo, R. 2008. Using long time series of Landsat data to monitor fire events and post-fire dynamics and identify driving factors. A case study in the Ayora region (eastern Spain). *Remote Sensing of Environment*, 112: 259–273.
- Sanford, R.L.; Saldarriaga, J.; Clark, K.E.; Uhl, C.; Herrera, R. 1985. Amazon rain-forest fires. *Science*, 227: 53–55.

- Schmidt, I.B.; Sampaio, A.B.; Borghetti, F. 2005. Efeitos da época de queima sobre a reprodução sexuada e estrutura populacional de *Heteropterys pteropetala* (Adr. Juss.), Malpighiaceae, em áreas de Cerrado sensu stricto submetidas a queimas bienais. *Acta Botanica Brasilica*, 19: 927–934.
- Schöngart, J.; Wittmann, F.; Junk, W.J.; Piedade, M.T.F. 2017. Vulnerability of Amazonian floodplains to wildfires differs according to their typologies impeding generalizations. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114: E8550 - E8551.
- Silva, R. G. 1998. *Manual de prevenção e combate aos incêndios florestais*. Brasília: Ibama, 79 p.
- Sioli, H. 1985. Amazônia: Fundamentos da ecologia da maior região de florestas tropicais. 3ªed. Vozes, Petrópolis. 72p.
- Sombroek, W. 2001. Spatial and temporal patterns of Amazon rainfall: Consequences for the planning of agricultural occupation and the protection of primary forests. *Ambio: A journal of the human environment*, 30: 388–396.
- Souza, A.L.; De Fátima Sales, J.; Campos, R.C.; Neto, A.R.; Silva, F.G. 2014. Superação da dormência de sementes de Tucum (*Astrocaryum huaimi* Mart.). *Semina: Ciências Agrárias*, 35: 749 –757.
- Souza, L.L. 2008. Frugivoria E Dispersão De Sementes Por Peixes Na Reserva De Desenvolvimento Sustentável Amanã. *Uakari*, 1: 7–18.
- Summers, P.M.; Browder, J.O.; Pedlowski, M.A. 2004. Tropical forest management and silvicultural practices by small farmers in the Brazilian Amazon: Recent farm-level evidence from Rondônia. *Forest Ecology and Management*, 192: 161–177.
- Ter Steege, H.; Pitman, N.C.A.; Sabatier, D.; Baraloto, C.; Salomão, R.P.; Guevara, J.E.; *et al.* 2013. Hyperdominance in the Amazonian tree flora. *Science*, 342: 325-336.
- Tomasella, J.; Borma, L.S.; Marengo, J.A.; Rodriguez, D.A.; Cuartas, L.A.; Nobre, C.A.; *et al.* 2011. The droughts of 1996-1997 and 2004-2005 in Amazonia: Hydrological response in the river main-stem. *Hydrological Processes*, 25: 1228–1242.
- Trabaud, L.; Lepart, J. 1980. Diversity and stability in garrigue ecosystems after fire. *Vegetatio*, 43: 49–57.
- Uhl, C.; Kauffman, J.B. 1990. Deforestation , Fire Susceptibility , and Potential Tree Responses to Fire in the Eastern Amazon: Published by : Ecological Society of America Stable. URL : <http://www.jstor.org/stabl>. *Ecology*, 71: 437–449.

- Wittmann, F.; Schöngart, J.; Brito, J.M.D.; Wittmann, A.O.; Piedade, M.T.F.; Parolin, P.; Junk, W.J.; Guillaumet, J-L. 2010. *Manual of trees from Central Amazonian várzea floodplains*. 1.ed INPA, Manaus, 286p.
- Wittmann, F. Junk, W. J. 2016. The Amazon river basin. In: FINLAYSON, C. M. *et al.* (ed.). *The Wetland book II: distribution, description and conservation*. Heidelberg; Berlin; New York: Springer Verlag, p.1-16.
- Worbes, M. 1997. The forest ecosystem of the floodplains. In: Junk, W.J. (Ed). *The central Amazon floodplain: ecology of a pulsating system*. Ecolog. Stud. v. 126. Springer, Berlin/ Heidelberg/New York, p.223–265.
- Wuschke, M. 1999. Fire Resistance in a Queensland Livistona. *Palms*, 43: 140–144.