

Embrapa

Amazônia Oriental



MG MUSEU PARAENSE
EMÍLIO GOELDI

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS

CÁSSIO ALVES PEREIRA

**INCÊNDIOS, DEGRADAÇÃO E RESTAURAÇÃO BIOCULTURAL DE
FLORESTAS SOCIAIS NA RESERVA EXTRATIVISTA TAPAJÓS-ARAPIUNS,
OESTE DO PARÁ**

BELÉM – PA

2023

CÁSSIO ALVES PEREIRA

**INCÊNDIOS, DEGRADAÇÃO E RESTAURAÇÃO BIOCULTURAL DE FLORESTAS
SOCIAIS NA RESERVA EXTRATIVISTA TAPAJÓS-ARAPIUNS, OESTE DO PARÁ**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociência, da Universidade Federal do Pará, em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Amazônia Oriental e o Museu Paraense Emílio Goeldi, como requisito para título de Doutor em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia.

Linha de pesquisa: Ecossistemas Amazônicos e Dinâmicas Socioambientais.

Orientadora: Dra. Ima Célia Guimarães Vieira.

Coorientador: Dr. Jos Barlow

Belém - Pará

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- P436i Pereira, Cássio Alves.
Incêndios, degradação e restauração biocultural de florestas
sociais na Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns, oeste do Pará /
Cássio Alves Pereira. — 2023.
150 f. : il. color.
- Orientador(a): Prof^a. Dra. Ima Célia Guimarães Vieira
Coorientador(a): Prof. Dr. Jos Barlow
Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de
Geociências, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais,
Belém, 2023.
1. Amazônia. 2. Floresta social. 3. Incêndio florestal. 4.
Degradação florestal. I. Título.

CDD 634.9618

CÁSSIO ALVES PEREIRA

INCÊNDIOS, DEGRADAÇÃO E RESTAURAÇÃO BIOCULTURAL DE FLORESTAS
SOCIAIS NA RESERVA EXTRATIVISTA TAPAJÓS-ARAPIUNS, OESTE DO PARÁ

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociência, da Universidade Federal do Pará, em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Amazônia Oriental e o Museu Paraense Emílio Goeldi, como requisito para título de Doutor em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia.

Linha de pesquisa: Ecossistemas Amazônicos e Dinâmicas Socioambientais.

Belém, 30 de junho de 2023.

Banca Examinadora:



Prof. Ima Célia Guimarães Vieira Orientadora
Doutora em Ecologia
Museu Paraense Emílio Goeldi



Prof. Joice Nunes Ferreira - Examinadora Interna
Doutora em Ecologia
Embrapa Amazônia Oriental



Prof. José Henrique Cattanio – Examinador Interno
Doutor em Agronomia
Universidade Federal do Pará/PPGCA



Prof. William Santos de Assis – Examinador Externo
Doutor em Desenvolvimento, Agricultura e Sociedade
Universidade Federal do Pará/INEAF



Prof. Regina Oliveira da Silva – Examinadora Externa
Doutora em Desenvolvimento Sustentável
Museu Paraense Emílio Goeldi

AGRADECIMENTOS

À Deus, essa fonte infinita de energia, que me iluminou e há de me iluminar durante toda minha caminhada;

À minha querida esposa e companheira Lila, aos meus filhos Diego e Cássia, ao meu genro Flávio e à minha nora Lu e às minhas princesas Bia e Lara – minha família e eterna fonte de inspiração – que me incentivaram na retomada dos estudos e nunca mediram esforços para facilitar meu desenvolvimento humano e profissional;

À Universidade Federal do Pará, ao Museu Paraense Emílio Goeldi e à Embrapa Amazônia Oriental pela composição do Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) e a todos meus colegas e professores da turma de doutorado do PPGCA/2019;

Agradeço à minha orientadora Dra. Ima Célia Guimarães Vieira, pelo incentivo ao ingresso no doutorado, apoio e pela paciência na formulação e condução da pesquisa e, principalmente, na redação dos artigos e da tese, sempre entendendo minhas limitações e mostrando os caminhos a seguir;

Ao meu coorientador Jos Barlow, ao meu parceiro de trabalhos de campo Carlos Silva “O Beleza” e aos colegas colaboradores nas análises dos resultados da pesquisa e elaboração dos artigos Marcelo Tabarelli, Amanda Ferreira, André Gilles e Fabiola Barros; ao Instituto Clima e Sociedade, ao Edital CNPq/Prevfogo-Ibama Nº 33/2018 e a Lancaster Environment Centre pelo apoio financeiro na realização das pesquisas de campo;

Ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) na pessoa da colega Jackeline Nóbrega Spínola e às organizações representantes dos extrativistas e indígenas Organização das Associações da Resex Tapajós-Arapiuns (TAPAJOARA), Conselho Indígena Tapajós Arapiuns (CITA) e Conselho Indígena Tupinambá do Baixo Tapajós (CITUPI) pela parceria institucional;

Às lideranças das comunidades indígenas Tupinambá de Muratuba, Vista Alegre, Mirixituba, Santo Amaro, Jauarituba, Paraná-Pixuna e Jaca e, em especial, aos Grupos de Manejadores de Restauração Florestal de Muratuba e Jauarituba – A Resex Tapaj-Arapiuns  um lugar lindo e de gente amiga e trabalhadora que me acolheu durante os trabalhos de campo;

A todos e demais pessoas que annima e amigavelmente me auxiliaram e estimularam a sempre seguir em frente.

RESUMO

A Amazônia tem papel central na conservação da biodiversidade terrestre, na provisão de serviços ecossistêmicos de relevância global, como a regulação do clima, e é o habitat de milhares de comunidades tradicionais e populações indígenas. Apesar da sua importância socioambiental, as atividades humanas têm causado extensas transformações na floresta amazônica, e uma das maiores preocupações atuais, além do desmatamento (corte raso da floresta) é a degradação florestal causada pelo fogo. Esta tese aborda o tema da degradação causada por incêndios em florestas sociais habitadas por comunidades indígenas da Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns, na região de Santarém, oeste do Pará, considerada uma das regiões mais vulneráveis ao fogo da região amazônica. A pesquisa avaliou a percepção das comunidades indígenas sobre a degradação e as mudanças nas condições da floresta social causadas por incêndios florestais, examinou o efeito de dois incêndios consecutivos (2015 e 2017) na estrutura, composição e diversidade de espécies de árvores e palmeiras da floresta, e analisou a possibilidade de construir estratégias para evitar a degradação futura e recuperar as florestas sociais pela abordagem biocultural que integra a pesquisa e o saber tradicional das comunidades indígenas. Os resultados mostraram que os incêndios florestais consecutivos reduzem a biomassa da vegetação e conduzem à homogeneização taxonômica da floresta. As comunidades indígenas percebem a vulnerabilidade do seu território à ocorrência dos incêndios florestais, particularmente em épocas de seca severa. Além disso, elas reconhecem perdas sociais, econômicas e ambientais e estão dispostas a atuar no controle do avanço da degradação e na recuperação da floresta social. Por fim, é proposta uma agenda de pesquisa e ação focada em causas, impactos, gestão e mitigação de incêndios em florestas sociais que inclui iniciativas piloto de restauração biocultural, produzidas de forma conjunta com as comunidades. Essas iniciativas devem conter metas, abordagens e tecnologias capazes de capacitar econômica, social e politicamente e integrar a ação das comunidades indígenas, organizações não governamentais, órgãos públicos, academia e agências de pesquisa e o poder público a fim de ampliar a abordagem da restauração biocultural relacionada aos incêndios florestais na Amazônia e produzir conhecimento e lições globalmente relevantes.

Palavras-chave: floresta social; comunidades indígenas; incêndio florestal; degradação florestal; restauração florestal; abordagem biocultural; Amazônia.

ABSTRACT

The Amazon plays a central role in the conservation of terrestrial biodiversity, in the provision of ecosystem services of global relevance, such as climate regulation and is the habitat of thousands of traditional communities and indigenous populations. Despite its socio-environmental importance, human activities have caused extensive transformations in the Amazon rainforest and one of the biggest current concerns, in addition to deforestation (clear-cutting of the forest) is forest degradation caused by fire. This thesis addresses the theme of degradation caused by fires in social forests inhabited by indigenous communities of the Tapajós-Arapiuns Extractive Reserve, in the region of Santarém, west of Pará, considered one of the most vulnerable regions to fire in the Amazon region. The research evaluates the perception of indigenous communities about the degradation and changes in social forest conditions caused by forest fires, examines the effect of two consecutive fires (2015 and 2017) on the structure, composition and diversity of forest tree and palm species, and analyzes the possibility of building strategies to prevent future degradation and recover social forests by the biocultural approach that integrates research and traditional knowledge of the indigenous communities. The results showed that consecutive forest fires reduce the biomass of the vegetation and lead to taxonomic homogenization of the forest. Indigenous communities perceive the vulnerability of their territory to the occurrence of forest fires, particularly in times of severe drought. In addition, they recognize social, economic and environmental losses and are willing to act to control the advance of degradation and the recovery of the social forest. Finally, a research and action agenda focused on causes, impacts, management and mitigation of fires in social forests is proposed, which includes pilot initiatives for biocultural restoration, produced jointly with the communities. These initiatives should contain goals, approaches and technologies capable of empowering economically, socially and politically and integrating the action of indigenous communities, non-governmental organizations, public agencies, academia and research agencies and the public power in order to expand the approach to biocultural restoration related to forest fires in the Amazon and produce globally relevant knowledge and lessons.

Keywords: social forest; indigenous communities; forest fire; forest degradation; forest restoration; biocultural approach; Amazon.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização da Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns e das comunidades indígenas participantes deste estudo.	25
Figura 2 - Foto de comunitários em assembleia na comunidade de Tucumatuba, no dia 25/07/1997 discutindo a proposta de criação da Resex.	26
Figura 3 - Práticas agroextrativistas de pesca, coleta de látex e produção de farinha de mandioca desenvolvidas da Resex.	28
Figura 4 - Matriz conceitual PEIR utilizada para análise da degradação florestal da Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns	41
Figura 5 - Respostas (em quantidade sim ou não) dos entrevistados nas comunidades indígenas da Resex, quanto aos cenários favoráveis e desfavoráveis para a degradação florestal.	48
Figura 6 - Gráfico de dispersão da análise de correspondência do subespaço definido pelas dimensões 1 e 2 (dados apresentados no Apêndice B).....	51
Figura 7 - Localização da área de estudo na Amazônia, com destaque para os locais dos levantamentos florísticos (círculos amarelos e azuis) nas comunidades indígenas (círculos verdes indicam as zonas de habitação das famílias) na Resex Tapajós-Arapiuns, Santarém, Pará.	67
Figura 8 - Diferença visual entre área de floresta não queimada (à esquerda) e floresta queimada duas vezes, em 2015 e 2017 (à direita), em comunidades indígenas da Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns, Santarém, Pará.	68
Figura 9 - Boxplots de cinco variáveis estruturais para os três tipos de florestas (Não queimada - NQ, Queimada uma vez - QU e Queimada duas vezes – QD, nos dois estratos de vegetação (1 e 2) em florestas avaliadas, na Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns..	80

Figura 10 - Boxplots das variáveis de riqueza de espécies e diversidade para os três tipos de florestas (Não queimada – NQ; Queimada uma vez - QU e Queimada duas vezes QD , em dois estratos (1 e 2) em florestas avaliadas, na Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns	82
Figura 11 - Similaridade Florística (Bray-Curtis) entre florestas avaliadas, na Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns, Santarém, Pará. MC - não queimada; QU - queimada uma vez e QD - queimada duas vezes.	83
Figura 12 - Boxplots da diversidade Beta considerando os três estratos (1- Canopy, 2- Understory e 3 -ground layer) em diferentes tipos de florestas (não queimadas, queimadas uma vez e queimadas duas vezes) avaliadas na Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns	84
Figura 13 - Índice de Similaridade de Jaccard entre as florestas não queimadas (NQ), queimada uma vez (QU) e queimada duas vezes (QD), considerando os três estratos avaliadas na Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns, Santarém, Pará.....	84
Figura 14 - Drivers leading to the degradation of social forests and potential trajectories resulting in either vulnerable or resilient human populations inhabiting traditional territories in the Amazon region. Dotted lines indicate those drivers associated with forest exploitation by locals (C, F, G) and considered less impacting than wildfires (D). In this context, degraded forests emerge particularly in the case wildfires occur with biocultural restoration (L) as an essential tool to guarantee the social reproduction of traditional communities and physical/ecological integrity of their communal territories.	100
Figura 15 - Biocultural forest restoration and their potential impacts/benefits on traditional communities inhabiting communal territories (A-B), plus its role as a tool to guarantee forest capacity to deliver key ecosystem services, while it produces knowledge and lessons to be shared (C).....	102
Figura 16 - The major components involved into biocultural forest restoration initiatives in the context of fire degraded forests into communal territories in the Amazon region from initial agreements (A) through forest-restoration related actions (B), long-term monitoring (C) and capacity building as transversal component (D).....	103

Figura 17 - Major stakeholders and their main responsibilities into initiatives devoted to biocultural forest restoration in the context of fire-degraded social forests into communal/traditional territories in the Amazon region. Acronyms represent Brazilian federal agencies operating into the focal context. 104

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dimensões, indicadores e variáveis para avaliar Pressão, Estado, Impacto e Resposta das comunidades indígenas Tupinambá, Resex Tapajós-Arapiuns.	44
Tabela 2 - Atividades produtivas realizadas nas comunidades indígenas Tupinambá da Resex Tapajós-Arapiuns. N= 35.....	45
Tabela 3 - Principais espécies coletadas nas atividades extrativistas nas comunidades indígenas Tupinambá da Resex Tapajós-Arapiuns. N= 35.....	46
Tabela 4 - Quantidade de moradores e produtos extrativistas coletados, antes e depois dos eventos de incêndio, nas comunidades indígenas Tupinambá, Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns. N=35.....	47
Tabela 5 - Indicadores e variáveis de Pressão, Estado, Impacto, Resposta associados aos cenários de degradação florestal nas comunidades Muratuba, Mirixituba e Jaca, RESEX Tapajós Arapiuns.	49
Tabela 6 - Amostragem das parcelas por tipo de floresta (frequência de incêndios) e por estrato da vegetação, nos levantamentos florísticos realizados nas florestas da Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns, Santarém, Pará.	70
Tabela 7 - Distribuição dos indivíduos por estrato de vegetação em cada tipo de floresta, nos levantamentos florísticos realizados nas florestas da Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns, Santarém, Pará.	73
Tabela 8 - Dados de florística e estrutura nos estratos da vegetação de cada tipo de floresta analisados, na Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns, Santarém, Pará. Média (Desvio Padrão). SD = sem dados. t MS = tonelada de matéria seca.	74
Tabela 9 - Famílias com maior número de espécies nos estratos da vegetação de cada tipo de floresta analisados, na Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns, Santarém, Pará.....	75
Tabela 10 - Lista das 10 espécies mais abundantes e seus grupos sucessionais (GS) nos estratos da vegetação de cada tipo de floresta analisados, na Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns, Santarém, Pará. P = Pioneira, TS = Tolerante a sombra.	77

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	14
1.1 Introdução	14
1.2 Referencial teórico	15
1.2.1 Florestas sociais, áreas protegidas e ameaças à conservação	15
1.2.2 Degradação e incêndios florestais	16
1.2.3 Restauração e recuperação florestal	18
1.2.4 Abordagem biocultural	20
1.3 Problema de pesquisa	22
1.4 Objetivos	23
1.4.1 Objetivo geral	23
1.4.2 Objetivos específicos	23
1.5 Perguntas de pesquisa	24
1.6 Contextualização da área de estudo	24
1.6.1 A Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns	26
1.6.2 Uso da terra/recursos naturais nas comunidades indígenas da Resex	27
1.6.3 O problema do fogo	28
1.6.4 Pesquisa de campo	29
1.7 Abordagem interdisciplinar da pesquisa	30
1.8 Organização da tese	31
2 PERCEPÇÃO DE COMUNIDADES INDÍGENAS SOBRE DEGRADAÇÃO DE FLORESTAS SOCIAIS AFETADAS POR FOGO ACIDENTAL NA AMAZÔNIA	32
2.1 Introdução	34
2.2 Material e métodos	38
2.2.1 Área de estudo	38
2.2.2 Análise dos incêndios, degradação florestal e percepção das comunidades	39

2.2.3 A abordagem PEIR e a percepção das comunidades.....	40
2.3 Resultados	42
2.3.1 Perfil socioprodutivo das famílias	42
2.3.2 Análise das dimensões e cenários PEIR	47
2.4 Discussão	53
2.5 Conclusão	57
3 FREQUÊNCIA DE INCÊNDIOS MOLDA AS RESPOSTAS DA VEGETAÇÃO AO FOGO NA AMAZÔNIA	63
3.1 Introdução	64
3.2 Material e Métodos	66
3.2.1 Localização da área de estudo	66
3.2.2 Caracterização da Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns (Resex)	67
3.2.3 O problema do fogo	68
3.2.4 Amostragem e coleta de dados	68
3.2.5 Levantamento florístico	69
3.2.6 Medidas realizadas: número de indivíduos, diâmetro e altura	70
3.2.7 Estrutura: cálculo da densidade de indivíduos, área basal, biomassa na parte aérea da vegetação (AGB) e índice de heterogeneidade estrutural de Gini	70
3.2.8 Diversidade	71
3.2.9 Análise dos dados	71
3.3 Resultados	72
3.3.1 Registros estruturais e florísticos	72
3.3.2 Efeito da frequência dos incêndios sobre a estrutura e diversidade da floresta	79
3.3.3 Efeito do fogo sobre a composição da vegetação	81
3.4 Discussão	85
3.5 Conclusão	89

4 RESTORING FIRE-DEGRADED SOCIAL FORESTS VIA BIOCULTURAL APPROACHES: A KEY STRATEGY TO SAFEGUARD THE AMAZON LEGACY	93
.....	
4.1 Implications for practice	94
4.2 Introduction	94
4.3 Communal territories, social forests and wildfires	96
4.4 Addressing forest fires via an integrated research agenda	99
4.5 Scaling up biocultural restoration	103
5 CONCLUSÃO GERAL	109
5.1 Resultados Chaves	109
5.2 Conclusões de forma integrada	110
5.3 Prioridades para pesquisa	111
REFERÊNCIAS	112
APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO COMPLETO APLICADO AOS MORADORES DAS COMUNIDADES INDÍGENAS DA RESERVA EXTRATIVISTA TAPAJÓS-ARAPIUNS	118
APÊNDICE B - CONJUNTO DE DADOS SUBMETIDO PARA ANÁLISE MULTIVARIADA. FREQUÊNCIAS CONVERTIDAS PARA PORCENTAGENS RELATIVAS A CADA COMUNIDADE	146
APÊNDICE C - RESULTADOS DA ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS MODELOS MISTOS LINEARES GENERALIZADOS PARA BIOMASSA (AGB), ÁREA BASAL (BA), ÍNDICE DE GINI (GINI), DIÂMETRO MÁXIMO (DBH) E DENSIDADE DE INDIVÍDUOS	148
APÊNDICE D - RESULTADOS DA ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS MODELOS MISTOS LINEARES GENERALIZADOS PARA RIQUEZA EM ESPÉCIES (HILL0), DIVERSIDADE (HILL1 HILL2)	149
APÊNDICE E – RESULTADOS DA ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS MODELOS MISTOS LINEARES GENERALIZADOS PARA SIMILARIDADE DE BRAY-CURTIS EM CADA ESTRATO E TRATAMENTO	150

1 INTRODUÇÃO GERAL

1.1 Introdução

As florestas tropicais, pela sua diversidade e extensão territorial, desempenham papel central na conservação da biodiversidade terrestre, além de realizarem funções essenciais para o bem-estar humano e processos ecológicos em diferentes escalas espaciais, ou seja, serviços de provisão, regulação e suporte, sequestro e armazenamento de carbono, regulação climática e proteção de mananciais hídricos (Barlow *et al.*, 2016; Edwards *et al.*, 2019; Marengo; Souza Junior, 2018; Calmon, 2021). Além disso, florestas tropicais são indispensáveis para a reprodução social e qualidade de vida de milhares de culturas e populações tradicionais (Lambin; Meyfroidt, 2011).

A Amazônia armazena em suas florestas 73 bilhões de toneladas de carbono acima do solo (Walker *et al.*, 2020), abriga mais de 40.000 espécies de plantas, 427 de mamíferos, 1.294 de aves, 378 de répteis, 427 de anfíbios e cerca de 3.000 espécies de peixes (Rylands *et al.*, 2002) e um número desconhecido de espécies de invertebrados, sendo o ecossistema mais biodiverso do planeta. Em acréscimo, a Amazônia tem papel central no equilíbrio do ciclo hidrológico global e pode lançar, diariamente na atmosfera, até 20 trilhões de litros de água por meio da evapotranspiração da floresta (Nobre, 2014). A manutenção da integridade florestal, a persistência e a esperança de um desenvolvimento sustentável para a região amazônica dependem, em grande parte, da imensa rede de áreas naturais públicas protegidas, como territórios quilombolas e áreas indígenas que são habitados por comunidades tradicionais e onde os recursos naturais estão estocados (Silva *et al.*, 2022).

No entanto, as atividades humanas têm causado extensas transformações na Amazônia e uma das maiores preocupações atuais, além do desmatamento (corte raso da floresta), é a degradação florestal. Aproximadamente $2,5 \times 10^6$ quilômetros quadrados da floresta amazônica estão atualmente degradados por incêndios, efeitos de borda, extração de madeira e/ou seca extrema, representando 38% de todas as florestas remanescentes na Amazônia (Lapola *et al.*, 2023).

Em algumas regiões da Amazônia, como o oeste do estado do Pará (local deste estudo), os incêndios florestais têm sido devastadores. O trabalho de Withey *et al.* (2018), realizado na região de Santarém, mostrou que durante o evento *El Niño*, na estação seca de 2015-2016, em uma área de 6,5 milhões de hectares, quase 1 milhão de hectares de florestas primárias (perturbadas e não perturbadas) foram queimadas. Existe um vasto conhecimento sobre as

consequências desses incêndios sobre a degradação florestal a partir dos estudos de pesquisadores associados ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Biodiversidade e Uso da Terra – INCT e ligados à Rede Amazônia Sustentável (Gardner *et al.*, 2013; Berenguer *et al.*, 2014, 2015; Solar *et al.*, 2015; Barlow *et al.*, 2016). Entretanto, estes estudos não associam as comunidades locais na compreensão do processo de degradação dessas áreas, dos efeitos da degradação sobre a vida dessas comunidades, assim como na busca de uma estratégia de recuperação das florestas degradadas. Nesse sentido, o presente estudo tem o objetivo de analisar a percepção de comunidades indígenas sobre incêndios e seus efeitos na degradação de florestas sociais e avaliar possibilidades de evitar a degradação e restaurar florestas, levando em conta a integração de resultados de pesquisa e os saberes tradicionais locais.

1.2 Referencial teórico

1.2.1 Florestas sociais, áreas protegidas e ameaças à conservação

No contexto deste estudo, as florestas sociais são definidas como um mosaico contendo uma mistura de povoamentos florestais em regeneração com idades variadas (devido à agricultura de corte e queima) associadas a remanescentes de floresta antiga. Esses mosaicos sucessionais de florestas comunitárias/ancestrais foram manejados por séculos ou mesmo milênios (Levis *et al.*, 2018), com base no conhecimento ecológico tradicional, e representam o principal ativo nesses territórios tradicionais (Brandão; Barata; Nobre, 2022). Precisamente, as florestas sociais funcionam como estoque de recursos naturais comunitário, fornecendo nutrientes para a agricultura, espécies cinegéticas (aquelas que sofrem grande pressão de caça), produtos florestais madeireiros e não madeireiros essenciais em termos de subsistência (segurança alimentar) e itens comerciais (como frutas, castanhas, medicamentos, mel, fibras vegetais, resina/látex e madeira).

Na Amazônia, a principal estratégia de conservação das florestas sociais é a criação das áreas protegidas. Essa estratégia foi impulsionada ao longo da década de 80 pelo governo brasileiro como resposta aos crescentes níveis de desmatamento e violência contra comunidades tradicionais (e.g., grupos indígenas, caboclos, seringueiros, pescadores) e com o objetivo de compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável dos seus recursos naturais pelas populações residentes, respeitando suas tradições e seus modos de vida (Presidência da República, 1973, 1996, 2000). Atualmente 43,9% do território amazônico, ou 2.197.485 km², são áreas protegidas como Unidades de Conservação e Terras Indígenas (Veríssimo *et al.*,

2011).

Os benefícios socioecológicos das áreas protegidas têm sido reconhecidos há muito tempo, incluindo a prevenção do desmatamento, a persistência da biodiversidade e a promessa de uma economia baseada na floresta de acordo com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável – ODS (Porter-b Olland *et al.*, 2011). Metade do carbono florestal remanescente na Amazônia brasileira persiste em áreas protegidas, enquanto o desmatamento ilegal em terras públicas não designadas respondeu, na última década, por mais de dois terços das emissões de CO₂ pela região amazônica brasileira na última década (Kruid *et al.*, 2021). Assim, a relevância das áreas protegidas permanece atual e, como tese política, o reconhecimento de uma profunda interconexão entre comunidades tradicionais, persistência/integridade florestal e posse de terras públicas (Toledo *et al.*, 2017).

Embora seja clara a contribuição das áreas protegidas na contenção do desmatamento, estas estão cada vez mais vulneráveis aos processos de degradação e perturbação das florestas, que afetam sua integridade ecológica (Walker *et al.*, 2020) e os meios de vida das populações tradicionais. Na bacia do rio Tapajós, que abrange o local deste estudo, de um território de quase 19 milhões de hectares, 43% são unidades de conservação de proteção integral e de uso sustentável, 17% estão protegidas por serem terras indígenas, 11% são de áreas militares, e o restante do território (29%) é ocupado por propriedades privadas, assentamentos de reforma agrária, áreas urbanas ou não possui situação fundiária definida (Tnc, 2018). Nesta região, as terras indígenas e unidades de conservação sofrem permanentes ameaças pela dinâmica de uso da terra causada pela exploração ilegal de madeira, pelo desmatamento, pela grilagem de terra, expansão da pecuária e do agronegócio de grãos, pelos investimentos em grandes projetos de infraestrutura (portos, rodovias, ferrovias, hidrovias e construção de hidrelétricas), garimpos e mineradoras industriais (Ferreira Neto *et al.*, 2019) e estão vulneráveis aos efeitos das estações secas prolongadas e da ocorrência de incêndios florestais (Peres, 1999; Barlow *et al.*, 2003; Carmenta *et al.*, 2011; Withey *et al.*, 2018; Andrade *et al.*, 2020; Spinola *et al.*, 2020; Berenguer *et al.*, 2021).

1.2.2 Degradação e incêndios florestais

A degradação das florestas é um problema global que contribui significativamente para as emissões de gases de efeito estufa (Calmon, 2021), perda de biodiversidade (Barlow *et al.*, 2016), reduções na regulação da água (Marengo; Souza Junior, 2018) e na capacidade das

florestas de fornecerem serviços ecossistêmicos vinculados a alimentos e bens que sustentam os meios de subsistência para populações locais (Lambin; Meyfroidt, 2011).

Uma floresta degradada pode ser definida como uma área que permanece com tipologia florestal, ou seja, nunca sofreu corte raso, porém sofreu perda de biomassa, de biodiversidade e de serviços ecológicos importantes, resultantes de exploração predatória de madeira, fragmentação florestal e eventos como queimadas (Parrotta *et al.*, 2012). Enquanto o desmatamento é o resultado da perda de floresta ou conversão para uso alternativo da terra, a degradação pode alterar fundamentalmente uma floresta sem reduzir sua área ou definição como floresta (Nepstad *et al.*, 1999). A floresta degradada é fragmentada pelo corte de árvores de interesse madeireiro, queimadas e abertura de trilhas para caça, e, embora muitas árvores continuem de pé, a floresta perde capacidade de sustentar a fauna e de manter a flora que ali existe (Vieira *et al.*, 2018).

As causas da perturbação florestal são impulsionadas por múltiplos fatores agindo em conjunto (Geist; Lambin, 2002). A identificação dos condutores (drivers) da degradação é importante para apoiar as economias locais e os esforços de conservação que buscam reverter as tendências de perda na qualidade de cobertura florestal (Spínola *et al.*, 2020). Ainda, uma compreensão adequada das causas imediatas e determinantes da degradação é essencial para alinhar as políticas com os atores apropriados, mas as informações quantitativas disponíveis sobre os fatores de degradação e como eles interagem em várias escalas continuam bastante limitadas.

Além das atividades humanas, as paisagens florestais da Amazônia também estão sendo afetadas por extremos climáticos, com ocorrência de secas severas que aumentam a mortalidade das árvores em florestas não perturbadas, tendo como efeito o aumento de incêndios florestais (Aragão; Shimabukuro, 2010; Phillips *et al.*, 2010; Anderson *et al.*, 2015). As previsões de incêndios na Amazônia, no século 21, são alarmantes (Fonseca *et al.*, 2019) e nas últimas duas décadas houve, pelo menos, cinco secas severas na Amazônia (Jiménez-Muñoz *et al.*, 2016).

As causas sociais também são propulsoras do processo de degradação florestal. O incêndio florestal criminoso ou aquele acidental, que escapa da área de preparo de terra para agricultura, exploração florestal madeireira, extrativismo, produção de carvão, caça e captura de animais, produz diferentes efeitos de degradação nos ecossistemas florestais (Ferreira *et al.*, 2015). Paradoxalmente, esse processo de degradação florestal também impacta diretamente as populações que dependem da floresta como meio de vida, ocasionando efeitos nas mesmas

atividades que causam a degradação, alterando a fonte de renda e subsistência dessas populações.

O resultado da integração entre degradação florestal, extremos climáticos e incêndios florestais está produzindo uma nova paisagem degradada na Amazônia em que extensas áreas de floresta permanecem “em pé”, no entanto, com suas funções ecológicas e sociais ameaçadas. Grande parte dessas áreas de florestas degradadas por incêndios florestais é habitada por comunidades indígenas e populações tradicionais agroextrativistas e que precisam ser recuperadas como forma de assegurar a sua sobrevivência e o modo de vida das populações locais.

1.2.3 Restauração e recuperação florestal

Restaurar e recuperar áreas de floresta são objetivos centrais para combater os grandes desafios da sustentabilidade, tais como as alterações climáticas e a perda de biodiversidade (Ipcc, 2014; Ipbes, 2019). No Brasil, a Lei Federal 9.985/2000 define restauração florestal como a restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada o mais próximo possível da sua condição original, enquanto a definição de recuperação florestal como a restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada a uma condição não degradada, que pode ser diferente de sua condição original.

A utilização da regeneração natural da floresta é uma alternativa de restauração de áreas degradadas por consistir em uma técnica de baixo custo, baseada no potencial de resiliência do próprio ambiente. A recuperação florestal pode ser uma alternativa mais dinâmica para a recuperação ambiental, aplicando de maneira singular estratégias mais eficazes em áreas localizadas, as quais perderam seu potencial de regeneração natural devido à degradação do solo ou limitações de dispersão das espécies (Holl, 2017). Muitos estudos têm sido realizados na Amazônia com o objetivo de melhor conhecer os processos naturais de restauração e recuperação de florestas alteradas (Poorter *et al.*, 2016; Silva *et al.*, 2018).

Estudos de Griscom *et al.* (2017) evidenciam o potencial da restauração florestal para mitigar o impacto das mudanças climáticas, bem como para ratificar as estratégias de sustentabilidade envolvendo soluções baseadas na natureza. Esta percepção positiva sobre o papel potencial da restauração florestal para beneficiar as pessoas e o planeta tem sido cada vez mais considerado pelos pesquisadores preocupados com a viabilidade ecológica e os impactos

sociais da restauração e da conservação das florestas em grande escala.

Do ponto de vista técnico, a restauração do ecossistema considera uma grande variedade de estratégias, que vão desde a recuperação não assistida até a remoção de barreiras para a sucessão (por exemplo: fogo, competição por espécies invasoras, erosão), reintrodução de espécies arbóreas, plantações comerciais ou sistemas agroflorestais (Scheper *et al.*, 2021). Vários fatores interferem na estratégia a ser usada, incluindo o contexto de restauração local (características topográficas, frequência e gravidade da perturbação), barreiras potenciais e restrições de recursos (conhecimento disponível, capacidade técnica e financiamento) e o objetivo de cada projeto (Holl; Aide, 2011). Metas de restauração variam muito, e consideram desde restaurar a estrutura florestal pré-existente, o funcionamento e a composição de espécies, até a recuperação de serviços ecossistêmicos, como maximizar o sequestro de carbono ou aumentar a biodiversidade (Scheper *et al.*, 2021).

A ideia central do processo de restauração é a sucessão, e esta pode ser mediada por diferentes agentes bióticos e abióticos, que interagem no tempo e no espaço para dar feições próprias ao novo sistema ecológico que deve ser o mais próximo possível do sistema original (Chazdon, 2012).

A restauração ecológica deve incluir metas a serem alcançadas em longo prazo, baseadas na recriação de um ecossistema autossustentável, estável e resiliente (Vieira, 2014). Dentro desta concepção de restauração, um conjunto de ações deve ser proposto, no sentido de concentrar a atividade biológica em determinados locais e assim facilitar a ação de recomposição natural. Definir a melhor estratégia para restaurar um ecossistema requer o entendimento de uma série de processos ecológicos que ocorrem na comunidade. Logo, a avaliação do potencial de resiliência deste ecossistema pode fornecer relevantes informações para a tomada de decisões sobre as ações mais apropriadas na restauração ecológica de uma área degradada. Este passo representa uma etapa de fundamental importância no processo de restauração ecológica (Vieira, 2014; Chazdon; Laestadius, 2016).

Há diferentes estratégias de recuperação florestal, como: i) Regeneração natural sem manejo, consistindo em deixar os processos naturais atuarem livremente; ii) Regeneração natural com manejo, no qual devem ser adotadas ações de manejo que induzam os processos de regeneração natural; iii) Plantio de espécies vegetais (herbáceas, arbustivas e arbóreas), nativas ou não, por meio de sementes e/ou mudas, com uma ou mais espécies, para formação de uma comunidade vegetal; e iv) Sistemas agroflorestais – SAFs, que são sistemas produtivos

baseados na sucessão ecológica, análoga aos ecossistemas naturais (Embrapa, 2022).

Entre as técnicas de recuperação florestal assistida, incluem-se ainda: i) Nucleação (processo natural pelo qual uma espécie ou um grupo de espécies pioneiras colonizam uma área e melhoram o ambiente facilitando a entrada de novas espécies) com transposição de solo e serapilheira, deposição de partes vegetais vivas (galhos e ramos), aproveitando-se resíduos vegetais, chuva de sementes e semeadura direta, plantio de mudas, construção de poleiros artificiais; ii) Plantio de adensamento recomendado para áreas em que a regeneração natural apresenta baixa quantidade de indivíduos arbóreo-arbustivos e falhas na área, com predominância ou não de gramíneas invasoras; e iii) Plantio de enriquecimento em áreas ocupadas com vegetação nativa, porém com baixa diversidade florística (Martins, 2020; Tnc, 2015).

1.2.4 Abordagem biocultural

A abordagem biocultural é uma ferramenta fundamental para a produção de conhecimento de suporte à sustentabilidade, particularmente em questões que envolvem populações tradicionais e múltiplos atores sociais (Cocks, 2006; Hanspach *et al.*, 2020). Mais do que entender como natureza e cultura se relacionam, esta abordagem preconiza utilizar inter-relações para pensar soluções para os problemas ambientais, ou seja, soluções baseadas na natureza capazes, também, de empoderar e transferir o protagonismo das iniciativas para atores sociais chave (Mantyka-Pringle *et al.*, 2017). Neste contexto, a percepção dos problemas pelos atores sociais é fundamental, de forma que seus interesses e conhecimento sejam efetivamente incorporados ao desenho e execução de iniciativas/soluções (Azevedo *et al.*, 2022).

Para Toledo e Barreira-Bassols (2008), os humanos são vistos como coparticipantes do processo de conservação e criação da biodiversidade que cresce nas áreas de maior diversidade linguística, portanto estão associadas à cultura e aos modos de vida das comunidades tradicionais e dos territórios indígenas. Nesse sentido, a memória biocultural das comunidades tradicionais é essencial para compreender a relação estreita entre crenças e práticas tradicionais para uma melhor compreensão da relação entre os conhecimentos tradicionais e a biodiversidade.

Embora as abordagens bioculturais estejam contribuindo efetivamente para entender

como natureza e cultura se coproduzem, poucas soluções efetivas têm sido propostas (Merçon *et al.*, 2019), e a maioria é relativa ao manejo sustentável de espécies focais, como recursos pesqueiros, qualidade da água e alguns recursos florestais. A restauração biocultural de ecossistemas deve acontecer em conjunto com a revitalização cultural (Kurashima *et al.*, 2017), ser guiada por saberes e valores locais e projetada, implementada e monitorada de forma conjunta com a população local (Lyver *et al.*, 2019).

Iniciativas focadas em evitar a degradação da floresta ou recuperar áreas degradadas têm proliferado nos últimos anos em escala global (Chazdon; Uriarte, 2016; Brancalion *et al.*, 2019). Degradação florestal é o cenário que emerge e se intensifica na Amazônia brasileira, pois o lançamento de carbono para atmosfera, causado por degradação já é superior ao proveniente do desmatamento (Matricardi *et al.*, 2020). As emissões de carbono provenientes da degradação florestal na Amazônia totalizam até 0,2 petagramas de carbono por ano (Pg C ano^{-1}), o que equivale, senão maior, às emissões do desmatamento da Amazônia (0,06 a 0,21 Pg C ano^{-1}) (Lapola *et al.*, 2023).

Entre as fontes de degradação, destacam-se os incêndios florestais acidentais, particularmente os grandes incêndios que passaram a ocorrer nos eventos de seca provocados pelo fenômeno do *El Niño* (Barlow *et al.*, 2021). Particularmente preocupante é a degradação das “florestas sociais”, ou seja, aquelas florestas de uso coletivo em territórios tradicionais, muitos dos quais já transformados em unidades de conservação de uso sustentável como as Reservas Extrativistas, mas também territórios indígenas e quilombolas (Porto-Gonçalves; Leff, 2015; Silva-Junior *et al.*, 2023). Estes territórios e unidades de conservação associadas representam um dos principais instrumentos de conservação da biodiversidade, uso sustentável da floresta tropical e garantia de preservação/reprodução de culturas tradicionais, as quais vivem da floresta, tanto do ponto de vista da subsistência (segurança alimentar) quanto dos recursos advindos de economias locais baseadas em produtos da floresta (Garret *et al.*, 2021).

As principais perdas para comunidades tradicionais da Amazônia, após a ocorrência de incêndios em suas florestas, estão relacionadas com a diminuição da oferta de alimentos, como frutas e sementes silvestres, perda de madeira para construção de casas, embarcações, cercas, currais e cipós utilizados na fabricação de artesanato, impactos sobre a caça e perda de plantas de uso medicinal (Peres *et al.*, 2003; Cunha *et al.*, 2020), ou seja, a redução da capacidade da floresta no que se refere aos serviços de provisão. Todavia, serviços de controle e regulação de relevância local podem ser afetados, como a proteção do solo, a regulação do ciclo hidrológico (Foley *et al.*, 2007). Além disso, a degradação das florestas sociais pode resultar na provisão de

“desserviços”, como a proliferação de animais peçonhentos ou aqueles que operam como vetores de zoonoses (Bonilla-Aldana *et al.*, 2019). A qualidade de vida e a capacidade de reprodução social destes atores é afetada provavelmente por um conjunto ou rede complexa de relações com a floresta degradada, da qual ainda pouco se sabe (Black *et al.*, 2017).

Em contrapartida, as comunidades tradicionais estão ligadas à ocorrência dos incêndios acidentais, por meio de formas tradicionais de uso da terra e manejo da floresta, como a exploração seletiva de madeira e a agricultura de corte e queima (Carmenta *et al.*, 2011; Camelli *et al.*, 2019). Estas práticas tendem a tornar a floresta mais vulnerável aos incêndios, não só pelo uso regular do fogo como ferramenta agrícola, mas pela geração de florestas em regeneração (capoeiras) e florestas perturbadas pela extração seletiva de madeira (Spinola *et al.*, 2020). Em síntese, há relações ecológicas complexas entre uso da terra, manejo de recursos florestais, incêndios, degradação da floresta e reprodução de atores locais (Carmenta *et al.*, 2013), e também entre estes processos e a restauração biocultural das florestas sociais como medida de mitigação e adaptação. Portanto, é razoável propor que soluções potenciais para o “drama” da floresta Amazônica, na sua trajetória de degradação e de empobrecimento/deslocamento de suas populações tradicionais (um componente importante da biodiversidade desta floresta) passam pelo envolvimento de atores-chaves, tanto em relação à percepção dos problemas/ameaças, quanto ao desenho de soluções e execução das ações (Pereira *et al.*, 2023). Na verdade, a integração do conhecimento local e indígena no processo de aprendizagem científica certamente beneficia a compreensão do funcionamento e estrutura dos ecossistemas (Agudelo *et al.*, 2020) e suas respostas aos incêndios acidentais.

1.3 Problema de pesquisa

A floresta amazônica tem papel central na conservação da biodiversidade e na estabilidade do clima no planeta, bem como para a reprodução social e qualidade de vida de milhares de culturas e populações tradicionais. Os incêndios florestais estão se tornando cada vez mais recorrentes na Amazônia e estão causando a degradação de extensas áreas de florestas sociais. Grande parte dessas áreas se encontram em processo de degradação, como a Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns, no oeste do estado do Pará, são habitadas por comunidades indígenas que estão perdendo fonte de alimentação, renda e alterando seu modo de vida. No entanto, estas florestas sociais podem ser restauradas, e assim recuperarem suas funções ecológicas e a sua importância socioambiental para as comunidades locais. A abordagem biocultural, que leva em conta o conhecimento e os interesses dos habitantes locais, é uma alternativa para evitar a continuidade do processo de degradação das florestas sociais e

recuperá-las de forma mais adaptada à realidade local.

Neste sentido, torna-se relevante realizar esta pesquisa para compreender a dinâmica dos incêndios florestais, os seus impactos na degradação de florestas sociais, bem como construir soluções que levam em conta os saberes locais na solução do problema da degradação e na restauração das florestas sociais. Portanto, esta pesquisa pretende contribuir para a conservação ambiental, para a reprodução social, melhoria da qualidade da preservação da cultura e inserir as comunidades indígenas e seus saberes tradicionais na agenda de discussão sobre a restauração biocultural, principalmente ao admitir que as comunidades indígenas tenham, em sua trajetória, desenvolvido conhecimentos, inovações e formas de valorização de suas terras e florestas.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo geral

Analisar a percepção de comunidades indígenas sobre incêndios florestais e seus impactos na degradação de florestas sociais, bem como as alternativas que são propostas para evitar a degradação e restaurar florestas levando em conta a integração de resultados de pesquisa e os saberes tradicionais locais.

1.4.2 Objetivos específicos

- (i) Analisar as causas imediatas e determinantes da degradação de florestas sociais por incêndios florestais, de modo a compreender como as comunidades indígenas influenciam, são influenciadas e a resposta que dão a este evento;
- (ii) Analisar as estratégias apontadas pelas comunidades indígenas para evitar a degradação da floresta social e recuperá-la;
- (iii) Analisar o efeito de incêndios frequentes sobre a estrutura, diversidade de espécies e composição florística da floresta social; e
- (iv) Avaliar a possibilidade de evitar a degradação e recuperar florestas sociais adotando uma abordagem que integra pesquisa científica e o saber tradicional de comunidades indígenas.

1.5 Perguntas de pesquisa

- (i) Qual a percepção das comunidades indígenas sobre a degradação e as mudanças nas condições da floresta social?
- (ii) Quais as estratégias apontadas pelas comunidades indígenas para evitar a degradação da floresta social e recuperá-la?
- (iii) Qual o efeito de incêndios frequentes na estrutura da vegetação, diversidade de espécies e composição da floresta?
- (iv) É possível construir estratégias para evitar a degradação e recuperar florestas sociais integrando resultados de pesquisa e o saber tradicional de comunidades indígenas?

1.6 Contextualização da área de estudo

O estudo foi conduzido na Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns (Resex) em área das comunidades indígenas que se autodeclaram da etnia Tupinanbá e se distribuem em sete localidades (Muratuba, Vista Alegre, Mirixituba, Santo Amaro, Jauarituba, Paraná-Pixuna e Jaca). Essas comunidades indígenas fazem parte de um fenômeno da emergência étnica ou etnogênese, que ocorre na região amazônica, que tem sido palco nas últimas décadas, de um crescente movimento de grupos que, vistos como caboclos¹, a partir de 1998 passaram a se afirmar publicamente como indígenas (Vaz Filho, 2010; Tapajós *et al.*, 2019).

Nessas comunidades prevalecem raízes da cosmovisão indígena² que, para o antropólogo Florêncio Almeida Vaz Filho, estão muito próximas à sustentabilidade, garantida pelo trabalho coletivo, a economia de reciprocidade e pelo uso controlado dos recursos da floresta devido à crença nos mitos da natureza, entre outros costumes herdados dos indígenas.

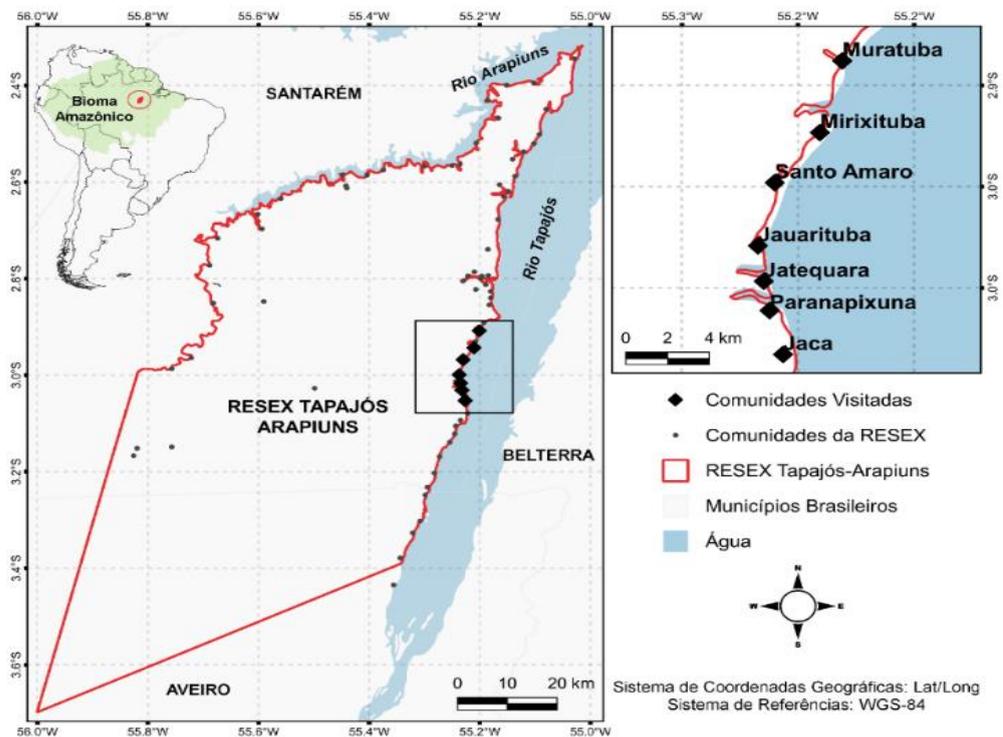
A Resex está situada nos municípios de Santarém e Aveiro, na parte baixa da bacia do rio Tapajós, próximo ao encontro com o rio Amazonas, na Amazônia Oriental, e as moradias das comunidades indígenas estão localizadas na margem do rio Tapajós (Figura 1). Na paisagem amazônica, o Baixo Tapajós está situado entre as zonas já alteradas da Amazônia (ao leste,

¹ O termo caboclo é usado para classificar a população miscigenada entre índios e brancos europeus que habita as comunidades rurais ribeirinhas da Amazônia.

² Maneira pela qual os povos indígenas constroem a forma de se relacionar com o mundo como parte integrante de uma relação completa entre todos os seres.

sentido Belém, capital do Pará) e grandes extensões de florestas nativas (a oeste, sentido Manaus, capital do Amazonas), em uma região de expansão de fronteira estratégica e determinante para o futuro da Amazônia. Essa região ainda concentra um estoque imenso de recursos naturais de floresta tropical, recursos hídricos, biodiversidade e minerais.

Figura 1 - Localização da Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns e das comunidades indígenas participantes deste estudo.



Fonte: Autor

Além da presença histórica das populações indígenas, o processo de ocupação do Baixo Tapajós é marcado por “ciclos” que iniciaram com a exploração das “drogas do sertão” – produtos naturais extraídos da floresta para uso culinário, medicinal, artesanal e manufatureiro – e dos seringais nativos até meados do século XIX. A ocupação também foi fortemente marcada pela abertura da rodovia federal BR-163 (denominada de Cuiabá-Santarém) e mais recentemente o novo ciclo de expansão do agronegócio e implantação de portos de embarque de grãos, hidrovias do Tapajós e ferrovia Ferrogrão que estão impactando a região. Com a chegada de novos atores sociais, aumenta a pressão sobre os recursos naturais e as populações locais e injeta grande quantidade de recursos financeiros com tendência de concentração de

renda e de terra.

1.6.1 A Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns

A Resex é uma das maiores Unidades de Conservação de Uso Sustentável do Brasil, com uma área total de 690.070 ha e uma das mais populosas, com 74 comunidades e aldeias indígenas, e aproximadamente 15.000 habitantes (Spinola *et al.*, 2020). A criação da Resex foi resultado da organização e luta dos moradores locais que combateram empresas madeireiras (Figura 2), que pretendiam explorar a área (Projeto Saúde Alegria, 2015). A Resex teve seu Plano de Manejo aprovado em 2014, no qual ficou estabelecido o zoneamento e as normas que devem presidir o uso da área e o manejo dos recursos naturais, inclusive a implantação das estruturas físicas necessárias à gestão da unidade (Icmbio, 2014).

Figura 2 - Foto de comunitários em assembleia na comunidade de Tucumatuba, no dia 25/07/1997 discutindo a proposta de criação da Resex.



Fonte: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (2014).

O clima que abrange a Resex é o equatorial continental megatérmico úmido da Amazônia Central, que tem como característica a associação do calor elevado (temperaturas médias anuais

entre 26 e 28°C) com umidade alta (valores médios anuais entre 80 e 85%). Os totais anuais médios da pluviosidade variam entre 2.000 e 2.800 mm com estação seca, bem definida, entre os meses de agosto e outubro. O relevo varia entre altitudes de 2 m a 216 m, com solo predominante de Latossolo Amarelo com manchas de Argisolo Amarelo e presença de Neossolo Quartzarênico Hidromórfico na parte norte da reserva, todos caracterizados como solos de baixa fertilidade natural e boas propriedades físicas (Icmbio, 2014).

A tipologia vegetal predominante é de floresta ombrófila densa caracterizada por árvores de grande porte, presença de lianas lenhosas e epífitas em abundância (Icmbio, 2014). Entre as espécies florestais, são encontradas a Tatajuba (*Bagassa guianensis* Aubl.), Angelim vermelho (*Dinizia excelsa* Ducke.), Cumaru (*Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd.), Cupiúba (*Goupia glabra* Aubl.), Ipê amarelo (*Handroanthus serratifolius* (Vahl.) S. O. Grose.), Jatobá ou Jutaí-açu (*Hymenaea courbaril* L.), Maçaranduba (*Manilkara huberi* (Ducke.) A. Chev.), Uxi (*Endopleura uchi* (Huber) Cuatrec.), Piquiá (*Caryocar villosum* (Aubl.), Castanha-do-Pará (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) e a Seringueira (*Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Mull. Arg.) (Icmbio, 2014).

1.6.2 Uso da terra/recursos naturais nas comunidades indígenas da Resex

O uso da terra/recursos naturais nas comunidades indígenas é caracterizado pela diversificação, combinando o extrativismo e a produção agrícola (Figura 3) com a criação de animais. As atividades extrativistas, vegetal e animal (coleta de latex e mel, caça e pesca), estão presentes na vida das comunidades, pois uma enormidade de produtos e serviços necessários para o bem-estar das famílias se baseia no acesso aos recursos naturais (florestas, rios e lagos). A prática do extrativismo vegetal é bastante comum, sendo cipós, óleos, castanhas, frutos e madeira os principais produtos retirados da floresta. Entre as outras atividades, podem-se destacar a confecção de artesanato e o turismo.

Figura 3 - Práticas agroextrativistas de pesca, coleta de látex e produção de farinha de mandioca desenvolvidas da Resex.



Fonte: Fonte: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (2014).

Em relação à produção agrícola, o sistema que predomina nas comunidades ainda é o de derrubada e queima da floresta para produção de lavouras, principalmente a mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), que é praticado próximo das áreas de habitação e em algumas “colônias”, as quais são mais afastadas, situadas na direção do centro da reserva. Vale ressaltar que o Plano de Manejo da Resex delimita uma zona específica para a prática de agricultura e outras atividades produtivas, a qual se localiza ao longo de uma faixa de 13 km a partir das margens dos rios Tapajós e Arapiuns (Icmbio, 2014).

O sistema agrícola de corte e queima, embora seja uma prática tradicional adaptada à cultura das comunidades indígenas, apresenta baixos índices de produtividade agrícola, alta penosidade do trabalho, além de perpetuar o desmatamento e as queimadas. Nesse sistema, a floresta, primária ou secundária (denominada de “capoeira”), é derrubada e queimada. O uso da queima da biomassa vegetal tem como finalidade a fertilizar a terra, controlar as ervas daninhas e reduzir a ocorrência das pragas e doenças dos cultivos. No entanto, com a repetição excessiva dos ciclos de corte e queima, o sistema tende a reduzir sua produtividade, esgotar a fertilidade dos solos e demandar a incorporação de novas áreas e, desta forma, perpetuar o ciclo de desmatamento e queima da floresta.

1.6.3 O problema do fogo

Nos últimos anos tem aumentado a recorrência de incêndios florestais nas comunidades indígenas da Resex. Esses incêndios decorrem, principalmente, da falta de controle do uso do

fogo na agricultura de corte e queima, algumas vezes este escapa da área planejada para ser cultivada e atinge as áreas de floresta causando a degradação do principal ecossistema da Resex. Segundo relatos dos moradores locais, de técnicos das organizações não governamentais que atuam na região e do ICMBio, os incêndios têm sido recorrentes, e durante as estações secas de 2015 e 2017, ocorreram os maiores incêndios florestais da história recente.

1.6.4 Pesquisa de campo

A pesquisa de campo foi realizada com apoio dos Projetos Mata sem Fogo³ e Restaurando a Mata⁴, dividida em cinco etapas. A etapa preparatória foi realizada em março de 2019 e constou de uma série de reuniões com Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBIO), Fundação Nacional do Índio (FUNAI), organizações representantes dos extrativistas/indígenas (Organização das Associações da Resex Tapajós-Arapiuns (TAPAJOARA), Conselho Indígena Tapajós Arapiuns (CITA) e Conselho Indígena Tupinambá do Baixo Tapajós (CITUPI). Após o registro da equipe técnica no Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade (SISBIO) e autorização do ICMBio, o estudo foi submetido ao Comitê Nacional de Ética em Pesquisa, via Plataforma Brasil (CAAE: 2 09616919.5.0000.5701), o qual foi apreciado e aprovado de acordo com o parecer nº 3.298.067.

Na primeira viagem de campo às comunidades indígenas (11 a 21 de março de 2019), foi realizada a apresentação da equipe do projeto e dos estudos planejados, das licenças e autorizações para realização das pesquisas, além da consulta às comunidades sobre o interesse de participação colaborativa nos estudos.

Após o consentimento formal da população local, registrado nas atas das reuniões, foi realizada a segunda etapa da pesquisa, entre 10 de setembro e 02 de outubro de 2019, quando foram iniciados os primeiros estudos que constaram da seleção de áreas, início da implantação das parcelas florestais permanentes, realização da primeira parte do levantamento florístico (floresta não queimada e áreas queimadas uma vez, em 2015), aplicação dos questionários para levantamento das informações socioambientais, que serviram de base para o primeiro capítulo desta tese. A terceira etapa constou da viagem de campo, que estava prevista para acontecer em

³ Projeto Financiado pela Chamada CNPq/Prevfogo-Ibama Nº 33/2018.

⁴ Projeto financiado pelo Instituto Clima e Sociedade (ICS).

março de 2020, no entanto, foi interrompida pela pandemia da COVID-19, e só realizada em setembro de 2021, após a liberação do acesso à Resex pelo ICMBio, quando foram completados os levantamentos florísticos nas áreas de floresta queimada duas vezes (queimadas em 2015 e 2017). As outras duas etapas foram cumpridas em 2022 e 2023, em que foram realizadas reuniões com as comunidades indígenas, sendo feita a devolutiva dos resultados do estudo sobre a percepção ambiental e a construção colaborativa das estratégias de restauração florestal.

1.7 Abordagem interdisciplinar da pesquisa

A produção do conhecimento, por meio da articulação entre as ciências naturais e sociais, apresenta a exigência desafiadora de um conhecimento mais completo sobre as dinâmicas socioambientais na Amazônia. A interdisciplinaridade, definida como a convergência de duas ou mais áreas do conhecimento, não pertencentes à mesma classe que transfere métodos de uma área para outra, gerando novos conhecimentos ou disciplinas, é uma abordagem característica das ciências ambientais ainda tratada como um grande desafio para o avanço da ciência e tecnologia (Philippi Júnior, 2000; Capes, 2009).

A interdisciplinaridade é vista como um passo necessário para a investigação científica, isto porque, com a interdisciplinaridade, é possível compreender os diferentes contextos que envolvem o problema de pesquisa (Klein, 2001). Para Vieira e Moraes (2003), na problemática ambiental, a prática interdisciplinar não poderá ser dissociada dos fundamentos teóricos de formas inovadoras da produção do conhecimento científico. O trabalho sobre interdisciplinaridade e meio ambiente deve ser comprometido com um fazer social, portanto, indo além do pesquisar e ensinar e interferindo no cotidiano e na produção do conhecimento (Fazenda, 1995).

Neste sentido, este estudo usa ferramentas das seguintes disciplinas: da ecologia, no que se refere a análises sobre degradação, restauração e recuperação de florestas e incêndios florestais; da agronomia e da engenharia florestal, em relação ao uso agrícola das terras e ao extrativismo florestal madeireiro e não madeireiro; das ciências sociais, para tratar da abordagem biocultural e análise de percepção das comunidades indígenas sobre degradação e estratégias de restauração florestal; e ainda, da ciência política, por apresentar recomendações de políticas públicas.

1.8 Organização da tese

A tese está organizada em capítulos que incluem um artigo já submetido e outros dois a serem encaminhados a revistas científicas de impacto, assim descritos:

O primeiro capítulo apresenta uma introdução geral, complementada pelo referencial teórico que aborda quatro temas principais: i) a importância das florestas sociais e das áreas protegidas e as ameaças à conservação, ii) considerações sobre degradação e incêndios florestais; iii) restauração e recuperação florestal; e iv) abordagem biocultural;

O segundo capítulo, intitulado “Percepção de comunidades indígenas sobre degradação de florestas sociais afetadas por fogo acidental na Amazônia”, avalia a percepção de moradores de três comunidades indígenas da Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns, no oeste do Pará, sobre as causas e consequências da degradação florestal pelo fogo (i.e., incêndios florestais acidentais e qual a resposta delas a este evento;

Já o terceiro capítulo, cujo título é “Frequência de incêndios florestais molda as respostas da vegetação ao fogo na Amazônia”, analisa o efeito de incêndios recorrentes na estrutura da vegetação, na diversidade de espécies e composição da floresta e como o fogo afeta os diferentes estratos da vegetação;

No quarto capítulo, já com o aceite para publicação na revista *Restoration Ecology*, intitulado “Restoring fire-degraded social forests via biocultural approaches: A key strategy to safeguard the Amazon legacy”, apresenta-se uma avaliação de como a abordagem biocultural pode contribuir para evitar a degradação e recuperar florestas sociais integrando resultados de pesquisa e o saber tradicional de comunidades indígenas.

A tese ainda apresenta em sua última parte as considerações finais.

2 PERCEPÇÃO DE COMUNIDADES INDÍGENAS SOBRE DEGRADAÇÃO DE FLORESTAS SOCIAIS AFETADAS POR FOGO ACIDENTAL NA AMAZÔNIA⁵

Resumo

O fogo acidental representa uma enorme ameaça para a integridade das florestas tropicais, incluindo as florestas sociais manejadas por populações tradicionais na Amazônia brasileira. Desta forma, entender e incorporar a percepção de atores locais em estratégias de busca de soluções é uma demanda urgente. Este estudo examina a percepção de moradores de três comunidades indígenas da Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns, no oeste do Pará, Amazônia Oriental, sobre as causas e consequências da degradação florestal pelo fogo (i.e., incêndios florestais acidentais). A metodologia Pressão-Estado-Impacto-Resposta foi aplicada, considerando quatro dimensões, 14 indicadores e 32 variáveis respostas. Os dados foram coletados em 2019 mediante entrevistas semiestruturadas com 35 moradores de comunidades indígenas que se autodeclararam da etnia Tupinambá. Além disso, foi realizada uma análise de correspondência verificando a ocorrência de cenários, favoráveis e desfavoráveis ao fogo segundo os entrevistados. De maneira geral, as comunidades estudadas reconhecem a vulnerabilidade do território à ocorrência do fogo, particularmente em épocas de seca severa. Ainda, elas reconhecem perdas sociais, econômicas e ambientais e estão dispostos a atuar na contenção da degradação e na restauração das florestas queimadas para restabelecer as perdas causadas pelo fogo. Esta percepção não só beneficia, mas também torna a incorporação destes atores como um elemento chave em estratégias potenciais para o combate à degradação, incluindo o desenho e a execução de iniciativas de restauração biocultural das florestas sociais.

Palavras-chave: populações tradicionais; floresta amazônica; florestas sociais; fogo; degradação; incêndios florestais; recuperação florestal.

⁵ Este capítulo foi traduzido para o inglês e está sendo preparado para publicação no periódico *Human Ecology*.

Abstract

Accidental fires pose a huge threat to the integrity of tropical forests, including the social forests managed by traditional populations in the Brazilian Amazon. Thus, understanding and incorporating the perception of local actors in strategies to search for solutions is an urgent demand. This study examines the perception of residents of three indigenous communities of the Tapajós-Arapiuns Extractive Reserve in western Pará, Eastern Amazon, about the causes and consequences of forest degradation by fire (i.e. accidental forest fires). The Pressure-State-Impact-Response methodology was applied, considering four dimensions, 14 indicators and 32 response variables. The data was collected in 2019 through semi-structured interviews with 35 residents of indigenous communities who declare themselves to be of the Tupinambá ethnicity. In addition, a correspondence analysis was performed verifying the occurrence of scenarios, favorable and unfavorable to the fire according to the interviewees. In general, the communities studied recognize the vulnerability of the territory to the occurrence of fire, particularly in times of severe drought. In addition, they recognize social, economic and environmental losses and are willing to act to contain the degradation and restoration of burned forests to restore the losses caused by fire. This perception not only benefits, but makes the incorporation of these actors as a key element in potential strategies to combat degradation, including the design and execution of initiatives for the biocultural restoration of social forests.

Keywords: traditional populations; Amazon rainforest; social forests; fire; degradation; forest fires; forest recovery.

2.1 Introdução

As florestas tropicais são chave para sustentabilidade global uma vez que proveem serviços ecossistêmicos em diferentes escalas espaciais (Edwards *et al.*, 2019). Especificamente, florestas tropicais são chave para a retenção de biodiversidade (Barlow *et al.*, 2016), sequestro e armazenamento de carbono (Calmon, 2021), regulação climática e proteção de mananciais hídricos (Marengo; Souza Junior, 2018) entre outros. Além disso, florestas tropicais são indispensáveis pela provisão de produtos florestais (serviço de provisão), mas também via serviços como recuperação da fertilidade dos solos, produção de água potável e controle de pragas, particularmente, para a reprodução social e qualidade de vida de milhares de culturas e populações tradicionais (Lambin; Meyfroidt, 2011).

Infelizmente, as florestas tropicais têm experimentado níveis crescentes de perturbações antrópicas, as quais, de modo geral, ocorrem na forma de um conjunto de atividades envolvendo perda e fragmentação de habitats, com exploração de madeira, caça, extração de produtos florestais não madeireiros e, mais recentemente, incêndios florestais (Malhi *et al.*, 2014). De fato, existe uma transição/trajetória da floresta madura em direção às paisagens antrópicas, onde a floresta permanece na forma de fragmentos degradados (Arroyo-Rodrigues *et al.*, 2020). Soma-se a este conjunto de perturbações locais, os eventos extremos associados às mudanças climáticas, como as secas prolongadas. Paisagens com matrizes abertas (e.g., pastagens), efeitos de borda, extração seletiva de madeira, agricultura de corte e queima e secas criam um cenário ideal para incêndios florestais acidentais, não só consumindo florestas secundárias, mas também partes de floresta madura (Nepstad *et al.*, 2008). Como resultado, emergem florestas degradadas (Thompson *et al.*, 2013), ou seja, florestas com menor capacidade de reter biodiversidade, prestar serviços de regulação e suporte e, principalmente, capacidade de satisfazer a necessidade de populações tradicionais que dependem dos produtos da floresta (Carmenta *et al.*, 2011). Obviamente que degradação florestal, associada à transição/trajetória floresta madura-paisagens antrópicas, está intimamente conectada com o uso da terra e seus atores (Barlow *et al.*, 2018). Desta forma, variáveis sociais, econômicas e políticas estão envolvidas, particularmente as políticas públicas que incidem diretamente sobre o uso da terra (Toledo *et al.*, 2017; Araujo *et al.*, 2019).

Percepção ambiental é o modo como cada indivíduo sente o ambiente ao seu redor, valorizando-o em maior ou menor escala. Também pode ser entendida como uma tomada de consciência pelo homem, de forma que este, percebendo o ambiente em que está inserido, aprenda a protegê-lo e cuidá-lo da melhor forma possível (Coimbra, 2004). Os estudos que se

baseiam na percepção ambiental propõem que não só a relação entre homem e meio ambiente seja estudada, mas também que perspectivas em pesquisas científicas, sociais ou políticas sejam elucidadas com a utilização deste conceito (Pacheco; Silva, 2007).

Os estudos da percepção ambiental são de fundamental importância para compreender as inter-relações entre o homem e o ambiente, suas expectativas, anseios, satisfações e insatisfações, julgamentos e condutas em relação ao espaço onde está inserido (Vasco; Zakrzewski, 2010). Para Buschbacher (2014), a influência antrópica no uso dos recursos naturais está diretamente vinculada a um valor que compreende diversos fatores, como relações sociais, leis, valores de mercado, governança e relações econômicas estabelecidas. Portanto, a forma de uso e gestão dos recursos naturais interfere diretamente na relação das comunidades ali presentes com o meio ambiente e as relações de poder entre si, pois, é a partir de fatores ambientais que valores culturais, políticos, econômicos e sociais se estabelecerão.

A abordagem biocultural adotada por Hanspach *et al.* (2020) é reconhecida como uma ferramenta fundamental para a produção de conhecimento de suporte à sustentabilidade, particularmente em questões que envolvem populações tradicionais e múltiplos atores sociais (Cocks, 2006). Mais do que entender como natureza e cultura se relacionam, estas abordagens preconizam utilizar estas inter-relações para pensar soluções para os problemas ambientais (i.e., soluções baseadas na natureza) capazes, também, de empoderar e transferir o protagonismo das iniciativas para atores sociais chaves (Mantyka-Pringle *et al.*, 2017). Neste contexto, a percepção dos problemas pelos atores sociais tem importância central, de forma que seus interesses e conhecimento sejam efetivamente incorporados ao desenho e execução de iniciativas/soluções (Azevedo *et al.*, 2022). Embora estas abordagens estejam contribuindo efetivamente para entender como natureza e cultura se coproduzem, poucas soluções efetivas têm sido propostas (Merçon *et al.*, 2019).

Neste contexto, iniciativas focadas em evitar a degradação da floresta ou recuperar áreas degradadas têm proliferado nos últimos anos, em escala global (Chazdon; Uriarte, 2016; Brancalion *et al.*, 2019). Degradação florestal é o cenário que emerge e se intensifica na Amazônia brasileira, uma vez que as perdas de carbono por degradação já são superiores às provenientes do desmatamento (Matricardi *et al.*, 2020). Aproximadamente $2,5 \times 10^6$ quilômetros quadrados da floresta amazônica estão atualmente degradados por incêndios, efeitos de borda, extração de madeira e/ou seca extrema, representando 38% de todas as florestas remanescentes na região. As emissões de carbono provenientes da degradação florestal totalizam até 0,2 petagramas de carbono por ano (Pg C ano^{-1}), o que equivale, senão supera, às

emissões do desmatamento da Amazônia (0,06 a 0,21 Pg C ano⁻¹) (Lapola *et al.*, 2023).

Entre as fontes de degradação, destacam-se os incêndios florestais acidentais, particularmente os grandes incêndios que passaram a ocorrer nos eventos de seca provocados pelo fenômeno do *El Niño* (Barlow *et al.*, 2021). Particularmente preocupante é a degradação das “florestas sociais”, ou seja, aquelas florestas de uso coletivo em territórios tradicionais, muitos dos quais já transformados em unidades de conservação de uso sustentável, como as Reservas Extrativistas, mas também territórios indígenas e quilombolas (Porto-Gonçalves; Leff, 2015; Silva-Junior *et al.*, 2023). Estes territórios e unidades de conservação associados representam um dos principais instrumentos de conservação da biodiversidade, uso sustentável da floresta tropical e garantia de preservação/reprodução de culturas tradicionais, as quais vivem da floresta, tanto do ponto de vista da subsistência (segurança alimentar), quanto dos recursos advindos de economias locais baseadas em produtos da floresta (Garret *et al.*, 2021).

As principais perdas para comunidades tradicionais (indígenas e agroextrativistas) da Amazônia após a ocorrência de incêndios em suas florestas estão relacionadas com a diminuição da oferta de alimentos, como frutas e sementes silvestres, perda de madeira para construção de casas, embarcações, cercas, currais e cipós utilizados na fabricação de artesanato, impactos sobre a caça e perda de plantas de uso medicinal (Peres *et al.*, 2003, Cunha *et al.*, 2020), ou seja, a redução da capacidade da floresta no que se refere aos serviços de provisão. Todavia, serviços de controle e regulação de relevância local podem ser afetados, como a proteção do solo, a regulação do ciclo hidrológico (Foley *et al.*, 2007). Além disso, a degradação das florestas sociais pode resultar na provisão de “desserviços”, como a proliferação de animais peçonhentos ou aqueles que operam como vetores de zoonoses (Bonilla-Aldana *et al.*, 2019). A qualidade de vida e a capacidade de reprodução social destes atores é afetada provavelmente por um conjunto ou rede complexa de relações com a floresta degradada, da qual ainda pouco sabemos (Black *et al.*, 2017).

Em contrapartida, as comunidades tradicionais estão ligadas à ocorrência dos incêndios acidentais, pelas formas tradicionais de uso da terra e manejo da floresta, como a exploração seletiva de madeira e a agricultura de corte e queima (Carmenta *et al.*, 2011; Camelli *et al.*, 2019). Estas práticas tendem a tornar a floresta mais vulnerável aos incêndios, não só pelo uso regular do fogo como prática agrícola, mas também pela geração de florestas em regeneração (capoeiras) e florestas perturbadas pela extração seletiva de madeira (Spinola *et al.*, 2020). Em síntese, há relações ecológicas complexas entre uso da terra, manejo de recursos florestais, incêndios, degradação da floresta e reprodução de atores locais (Carmenta *et al.*, 2013), e

também entre estes processos e a restauração biocultural das florestas sociais enquanto medida de mitigação e adaptação.

Portanto, as soluções potenciais para o “drama” da floresta Amazônica, na sua trajetória de degradação e de empobrecimento/deslocamento de suas populações tradicionais (um componente importante da biodiversidade desta floresta), passam pelo envolvimento de atores-chaves tanto no que se refere à percepção dos problemas/ameaças, quanto ao desenho de soluções e execução das ações (Pereira *et al.*, 2023). Ainda, a integração do conhecimento indígena local no processo de aprendizagem científica certamente beneficia a compreensão do funcionamento e estrutura dos ecossistemas (Agudelo *et al.*, 2020) e suas respostas aos incêndios acidentais. Embora esta abordagem biocultural pareça ser a única possibilidade razoável, dada a complexidade ecológica, socioeconômica e política dos cenários de degradação (i.e., conflitos de interesse), poucas iniciativas têm sido realizadas na região, de forma que lições em suporte ao desenvolvimento e à adoção desta ferramenta são ainda escassas. No contexto das abordagens bioculturais, particularmente nos casos da restauração biocultural, a percepção da degradação e seus condutores, bem como os objetivos almejados pelos atores focais são centrais no desenho/efetividade das iniciativas, limitando ou suportando propostas ambiciosas, como a restauração/consolidação de sistemas socioecológicas (e.g., modelos agroextrativistas).

Sendo assim, este artigo analisa a percepção de comunidades indígenas sobre as causas imediatas e determinantes da degradação florestal por incêndios florestais, de modo a compreender como elas influenciam, como são influenciadas e qual a resposta delas a este evento. Utiliza-se o conceito de percepção de Bennet (2016), definida mediante a forma como um indivíduo observa, compreende, interpreta e avalia um objeto, uma ação, experiência, outro indivíduo, a política, ou o resultado de referência. O estudo foi realizado na Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns, no oeste do Estado do Pará, Amazônia Oriental, local de ocorrência dos incêndios em grande escala na Amazônia central (Spinola *et al.*, 2020). Grande parte das florestas sociais desta unidade de conservação queimou entre 2015 e 2017, afetando a vida de dezenas de comunidades tradicionais, incluindo comunidades autodeclaradas indígenas da etnia Tupinambá. Especificamente, procura-se responder às seguintes questões: 1) Quais as percepções das comunidades indígenas sobre a degradação causada pelo fogo e as mudanças nas condições da floresta? e 2) Quais as estratégias apontadas para evitar a degradação da floresta e recuperá-la? Discutem-se os resultados à luz da natureza do(a) conhecimento/percepção de culturas tradicionais (i.e., nível de compreensão, potenciais limites, particularidades) e suas implicações para o(a) desenho/execução de iniciativas de

conservação/restauração.

2.2 Material e métodos

2.2.1 Área de estudo

A Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns (doravante Resex) abrange uma área de 690.070 ha, e está localizada no Oeste do estado do Pará, na Amazônia Oriental. No Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) a categoria Reserva Extrativista se classifica como unidade de conservação de uso sustentável, criada para garantir a exploração sustentável e a conservação dos recursos naturais tradicionalmente/historicamente utilizados pelas populações extrativistas/tradicionais da área (Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000).

O relevo predominante na Resex é relativamente plano variando entre 2 m e 216 m acima do nível do mar, sendo o solo predominante o Latossolo Amarelo com manchas de Argisolo Amarelo e presença de Neossolo Quartzarênico Hidromórfico na parte norte da reserva; i.e., todos solos são de baixa fertilidade natural, mas com boas propriedades físicas do ponto de vista agrícola. O clima é o equatorial continental megatérmico úmido da Amazônia Central, que tem como característica a associação do calor elevado (temperaturas médias anuais entre 26 e 28°C) e umidade elevada (valores médios anuais entre 80 e 85%). Os totais anuais médios da pluviosidade variam entre 2.000 e 2.800 mm com estação seca bem definida, entre os meses de agosto e outubro. A tipologia vegetal predominante é de floresta ombrófila densa de terras baixas (i.e., floresta de terra firme) caracterizada por árvores de grande porte, presença de lianas lenhosas e epífitas em abundância (Icmbio, 2014). Portanto, trata-se de uma floresta rica tanto em recursos madeireiros quanto não madeireiros com ocorrência de árvores de grande porte. Entre as espécies florestais, são encontradas a Tatajuba (*Bagassa guianensis* Aubl.), Angelim vermelho (*Dinizia excelsa* Ducke.), Cumarú (*Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd.), Cupiúba (*Goupia glabra* Aubl.), Ipê amarelo (*Handroanthus serratifolius* (Vahl.) S. O. Grose.), Jatobá ou Jutaí-açu (*Hymenaea courbaril* L.), Maçaranduba (*Manilkara huberi* (Ducke.) A. Chev.), Uxi, (*Endopleura uchi* (Huber) Cuatrec.), Piquiá (*Caryocar villosum* (Aubl.), Castanha-do-Pará (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) e a Seringueira (*Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Mull. Arg. (ICMBIO, 2014a).

A Resex abriga, atualmente, 74 comunidades e aldeias indígenas com aproximadamente 15.000 pessoas. Os meios de subsistência são predominantemente baseados

na agricultura de corte e queima, tendo a mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) como cultura principal, complementado pela pesca e extração de produtos florestais não madeireiros (Spinola *et al.*, 2020). Grande parte destas atividades agrícolas e extrativistas são realizadas na floresta no entorno da área de habitação das comunidades, segundo a nossa experiência no local, raramente ultrapassando 10-12 km de distância. Especificamente, trata-se de mosaicos florestais, criados pela agricultura de corte-e-queima, onde persistem roças ativas e abandonadas, raras áreas de pastagens, florestas em regeneração com diferentes idades e pequenos trechos de floresta relativamente madura ou pouco perturbada. Estas “florestas sociais” são exploradas de forma comunitária. Atividades de caça e coleta de castanha-do-pará ocorrem em florestas maduras distantes dos assentamentos, complementando a oferta de produtos/serviços ecossistêmicos necessários à reprodução social destas populações tradicionais.

As florestas da Resex e região provaram ser, na última década, altamente vulneráveis à ocorrência de mega incêndios florestais, conforme os registros de Withey *et al.* (2018) e Berenguer *et al.* (2021), os quais documentaram o aumento no número de queimadas acidentais e de incêndios florestais nos últimos anos.

2.2.2 Análise dos incêndios, degradação florestal e percepção das comunidades

A pesquisa foi desenvolvida em três comunidades indígenas da Resex, as quais se autodeclararam da etnia Tupinambá: Muratuba, Mirixituba e Jaca (Figura 1). A escolha dessas comunidades foi baseada em: (1) ocorrência de incêndios florestais recentes; (2) verificação “*in loco*” da presença de áreas queimadas e não queimadas nas florestas sociais; e (3) disposição da população local em participar do estudo. Essas comunidades têm um Protocolo de Consulta Prévia Livre e Informada do Povo Tupinambá, o qual determina que atividades institucionais desenvolvidas no local, inclusive estudos científicos, precisam ser aprovadas pelos comunitários. Além disso, o projeto foi submetido ao Comitê Nacional de Ética em Pesquisa, via Plataforma Brasil (CAAE: 2 09616919.5.0000.5701) e aprovado de acordo com o parecer nº 3.298.067.

Nessas comunidades, foram realizadas entrevistas com 35 indígenas, em setembro de 2019, sendo 24 (31,2% do número de domicílios da comunidade) de Muratuba, seis (42,9% dos domicílios) de Mirixituba e cinco (29,4% dos domicílios) de Jaca. A seleção dos entrevistados foi efetuada de forma aleatória, com sorteio a partir de uma lista dos chefes/chefas de domicílio

fornecida pelos agentes comunitários de saúde e caciques de cada comunidade. Este procedimento resultou na seleção de 35 indivíduos adultos e do sexo masculino, pertencentes a 35 famílias distintas e, nesse sentido, vale destacar que a opção de não identificar mulheres como chefes de domicílio coube a cada família sorteada. O questionário adotado nas entrevistas foi composto por cinco módulos, a fim de serem identificados: (1) aspectos sociais das famílias; (2) bem-estar; (3) trabalho e renda; (4) atividades produtivas; e (5) percepção sobre fogo e as ações das famílias para conter a degradação e promover a restauração florestal (Apêndice A). Para este estudo, foram usadas informações dos módulos 1, 3, 4 e 5.

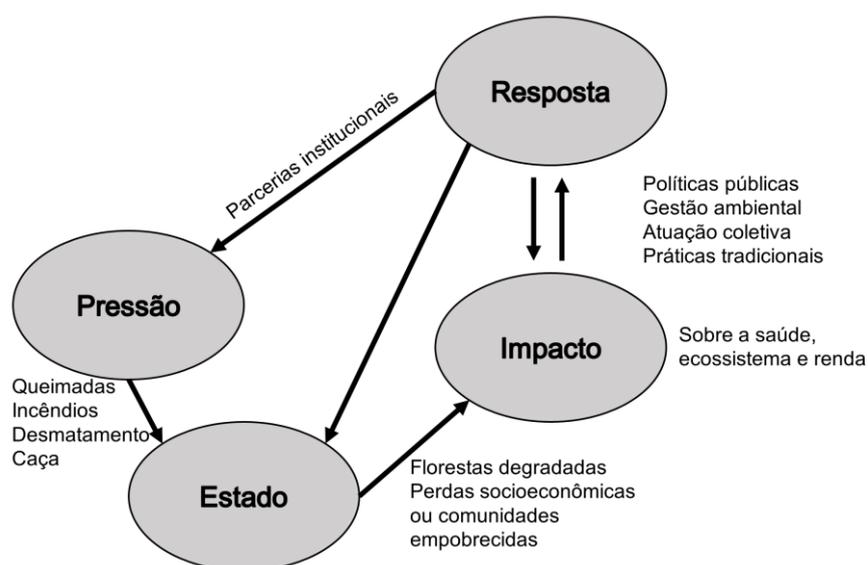
Os dados coletados foram tabulados em planilhas e analisados por meio de estatística básica e análise descritiva, variando de acordo com a natureza da informação e com o objetivo da pesquisa. Posteriormente, as informações foram agrupadas para utilização da abordagem Pressão-Estado-Impacto-Resposta (PEIR descrita abaixo). Uma análise de correspondência foi aplicada, avaliando os cenários, favoráveis e desfavoráveis, por comunidade e em função das dimensões PEIR. Este método de análise estatística multivariada, tem como um dos objetivos verificar a associação entre variáveis categóricas organizadas em tabelas de contingência (Lebart *et al.*, 1984). As respostas foram primeiramente transformadas em porcentagem por pergunta (Apêndice B) para cada comunidade indígena, de forma a deixar os dados na mesma escala e evitar a distorção dos resultados devido ao maior número de participantes de Muratuba. Usou-se o pacote R para esta análise (Alberti, 2015).

2.2.3 A abordagem PEIR e a percepção das comunidades

A abordagem PEIR procura demonstrar, de forma integrada, as conexões/relações causais entre as causas dos problemas ambientais, seus impactos e as respostas do grupo focal frente ao problema/fenômeno (Caar *et al.*, 2007; Smeets; Weterings, 1999). Para esta abordagem, focou-se nas atividades humanas relacionadas ao uso da terra e ao manejo da floresta, as quais visam a atender a oferta de produtos de subsistência e de comercialização, como a farinha de mandioca, garantindo assim a reprodução social das populações. Nessa perspectiva, assumiu-se que os indicadores de Pressão estão relacionados às principais atividades realizadas pelos moradores locais ou associadas a elas, como o uso do fogo para o preparo das roças, incêndios florestais acidentais, caça e desmatamento (Figura 4). Existe farta literatura que relaciona estas práticas com causas da degradação da floresta Amazônica, em maior ou menor grau (Carmenta *et al.*, 2011; Camelli *et al.*, 2019; Lapola *et al.*, 2023).

Nesta abordagem, os indicadores de Estado são as situações resultantes dessas atividades e usos da terra, os quais indicam o status atual da floresta social (e.g., florestas degradadas vs. não degradadas) e emergem como consequência dos indicadores/vetores de pressão; i.e., relação de causalidade (Gari *et al.*, 2015). Os indicadores de Impacto se referem às consequências (novamente relações de causalidade) sobre: (1) saúde e bem-estar da população, (2) economia, (3) biodiversidade, (4) funcionamento do ecossistema e (5) provisão de serviços ecossistêmicos.

Figura 4 - Matriz conceitual PEIR (Pressão-Estado-Impacto-Resposta) utilizada para análise da degradação florestal da Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns



Fonte: Autor.

Particularmente, no que se refere aos incêndios florestais acidentais na Amazônia e nas florestas tropicais, a maioria dos impactos sobre a capacidade da floresta em prover serviços ecossistêmicos e a “cascata” de consequências sobre populações tradicionais e seus territórios ainda está para ser descrito, embora estes incêndios sejam reconhecidos como vetores de degradação da floresta, particularmente no que tange à redução da biomassa florestal (Lapola *et al.*, 2023). Os indicadores de Resposta estão relacionados às alternativas e propostas, consideradas aqui como medidas necessárias para reverter o quadro de degradação e a restauração da floresta. Da mesma forma que os impactos causados pelos incêndios florestais acidentais ainda carecem de documentação, particularmente quanto à reprodução social das populações tradicionais, medidas mitigatórias e adaptativas em relação à prevenção dos incêndios e degradação necessitam ser testadas na área de estudo. No entanto, as medidas propostas neste estudo têm algum respaldo teórico, como a restauração biocultural (Sena *et al.*,

2022; Sousa-Alonso *et al.*, 2022).

Em suma, foi proposto um modelo contendo 32 variáveis indicadoras, sendo 10 de Pressão, quatro de Estado, seis de Impacto e 12 de Resposta (Apêndice B), definidas aqui a partir da síntese das entrevistas. Os cenários de degradação, foram definidos tendo como base o quanto as variáveis influenciam positivamente ou negativamente para a degradação florestal. Na tabela 1, adotou-se a cor de rosa para representar um cenário “favorável” e verde para “desfavorável” no que se refere à degradação. Esta análise/abordagem possibilitou, com base em indicadores previamente estabelecidos, traçar um perfil da percepção das comunidades quanto às causas, consequências e medidas de prevenção/mitigação da degradação das florestas sociais.

2.3 Resultados

2.3.1 Perfil socioproductivo das famílias

Dos 35 representantes das famílias entrevistadas nas comunidades, todos se declararam indígenas. A idade média dos entrevistados na comunidade Muratuba e Jaca foi de 48 anos, e em Mirixituba foi de 43 anos. O número médio de pessoas por família foi de cinco pessoas, sendo a maior família com 13 pessoas e a menor com uma pessoa morando no domicílio. A baixa escolaridade foi observada nas três comunidades (68% das pessoas apresentam formação até o ensino fundamental incompleto), sendo que Muratuba apresentou chefes de família com maior grau de escolaridade.

As atividades produtivas revelaram um perfil de diversificação, com predominância de criação de pequenos animais, roça e atividades extrativistas nas florestas sociais (Tabela 2). Objetivamente, a área de floresta (primária e secundária) convertida em roça (agricultura de corte e queima tradicional) por família variou entre 0,5 e 6,0 ha ano⁻¹. No entanto, a maioria das famílias declarou converter entre 0,5 e 1,5 ha ano⁻¹. A mão de obra familiar envolvida na produção agrícola foi bastante variada e esteve relacionada com o tamanho das famílias, sendo que homens e mulheres, tanto jovens, adultos e idosos saudáveis estiveram envolvidos nessa atividade, sobretudo na produção de mandioca e fabricação de farinha.

A base da alimentação das famílias foi composta, principalmente, por farinha, carne de caça e peixe. Dentre os animais mais caçados, nos cinco anos anteriores a 2019, destacam-se: paca (*Cuniculus paca*), tatu (*Dasypus novemcinctus*), cutia (*Dasyprocta leporina*) e veado (*Mazama americana*). O plantio de cultivos temporários (mandioca 29/83%, milho 14/40%) e

banana (14/40%) predominou como prática de produção agrícola e, conforme os entrevistados, a venda da farinha de mandioca foi a principal fonte de renda agrícola relatada, em que 51% dos entrevistados declararam comercializar farinha, obtendo uma renda média de R\$ 1886,00/ano, mas variando de R\$ 60,00 até R\$ 7200,00/ano entre as famílias. Outros produtos também foram reportados como sendo comercializados em pequena escala: galinha, porco, banana, laranja, tapioca, urucum e pimenta.

Tabela 1 - Dimensões, indicadores e variáveis para avaliar Pressão, Estado, Impacto e Resposta das comunidades indígenas Tupinambá, Resex Tapajós-Arapiuns.

INDICADORES	VARIÁVEIS	CENÁRIOS		
		FAVORÁVEL	DESFAVORÁVEL	
DIMENSÃO PRESSÃO	1. Roçado com uso do fogo	PRESENÇA	AUSÊNCIA	
	2. Local do roçado preferencialmente na floresta	PRESENÇA	AUSÊNCIA	
	Agricultura de corte e queima	3. Cuidado com o fogo	AUSÊNCIA	PRESENÇA
		4. Queima nos meses mais quentes e mais secos	PRESENÇA	AUSÊNCIA
	Queimadas	5. Conhecimento da legislação de uso do fogo	AUSÊNCIA	PRESENÇA
		6. Autorização do ICMBio	AUSÊNCIA	PRESENÇA
		7. Conhecimento da origem do fogo	AUSÊNCIA	PRESENÇA
		8. Frequência de uso de fogo para atividades	PRESENÇA	AUSÊNCIA
	Caça	9. Redução da oferta de caça e captura de animais	PRESENÇA	AUSÊNCIA
	Desmatamento	10. Perda de floresta próximo da comunidade	PRESENÇA	AUSÊNCIA
DIMENSÃO ESTADO	Cobertura Florestal	11. Área protegida pelas comunidades	AUSÊNCIA	PRESENÇA
		12. Floresta mais seca e com mais material combustível (galhos e folhas secas)	PRESENÇA	AUSÊNCIA
	Floresta ecologicamente degradada	13. Diversidade de espécies de caça na comunidade	AUSÊNCIA	PRESENÇA
		14. Diversidade de fauna e flora prejudicada	PRESENÇA	AUSÊNCIA
DIMENSÃO IMPACTO	Vulnerabilidade da floresta ao fogo	15. Incêndios na comunidade	PRESENÇA	AUSÊNCIA
		16. Disponibilidade de espécies de plantas inflamáveis (palmeiras e tiririca) na floresta	PRESENÇA	AUSÊNCIA
	Efeitos na sobrevivência e renda	17. Mudanças na vida com empobrecimento das famílias	PRESENÇA	AUSÊNCIA
		18. Aspectos negativos depois das queimadas	PRESENÇA	AUSÊNCIA
	Valor Ecológico da Floresta	19. Mudanças com empobrecimento da mata	PRESENÇA	AUSÊNCIA
Problemas de saúde	20. Doenças Respiratórias	PRESENÇA	AUSÊNCIA	
DIMENSÃO RESPOSTA	Controle do uso do fogo	21. Participação em capacitação	AUSÊNCIA	PRESENÇA
		22. Acordo/regra local do uso do fogo	AUSÊNCIA	PRESENÇA
		23. Uso de técnicas de prevenção de incêndios	AUSÊNCIA	PRESENÇA
	Agricultura alternativa Reflorestamento	24. Preparo de área para a roça sem uso de fogo	AUSÊNCIA	PRESENÇA
		25. Cuidado no uso do fogo, isto é, proteção das áreas produtivas contra o fogo (aceiros)	AUSÊNCIA	PRESENÇA
		26. Regeneração florestal para recuperar	AUSÊNCIA	PRESENÇA
			27. Proatividade para ajudar na regeneração	AUSÊNCIA
	Ordenamento do extrativismo	28. Áreas proibidas para corte de árvores e queimadas	AUSÊNCIA	PRESENÇA
		29. Manutenção da floresta	AUSÊNCIA	PRESENÇA
		30. Ações públicas	AUSÊNCIA	PRESENÇA
Organização social e planejamento da ocupação	31. Atividades comunitárias	AUSÊNCIA	PRESENÇA	
	32. Investimentos públicos	AUSÊNCIA	PRESENÇA	

Fonte: Autor.

Tabela 2 - Atividades produtivas realizadas nas comunidades indígenas Tupinambá da Resex Tapajós-Arapiuns. N= 35.

Atividades	Sim (%)	Não (%)
Roçado	83	17
Coleta de Produtos da Floresta	74	26
Caça	51	49
Pesca	77	23
Criação de pequenos animais	89	11
Criação de gado	9	91

Fonte: Autor.

De acordo com os entrevistados, 82,5% apontaram que a queima da área para fazer a roça ocorre entre outubro e novembro, quando começa a estação chuvosa, e o corte da vegetação para preparação da roça (agricultura de corte-e-queima) ocorre no início do período mais seco, entre julho e setembro. Entre os meses de fevereiro e maio ocorre um aumento das dificuldades de manutenção do roçado, devido ao rápido crescimento da vegetação/ervas daninhas provocado pelas chuvas, pois estes meses são considerados os mais chuvosos na região. As famílias precisam pedir autorização para queima no ICMBio e, além disso, “*elas precisam avisar a associação da comunidade antes de ir fazer o roçado*” (A.G., Morador da Comunidade Muratuba, Santarém, Pará) e “*comunicar os demais moradores quando forem fazer roça*” (E.M., Morador da Comunidade Muratuba, Santarém, Pará).

Mesmo diante da existência de regras do uso do fogo nas comunidades, os incêndios acidentais foram reportados como recorrentes, cuja causa mais citada (80,0%) foi o fogo utilizado para limpeza e preparo da roça; i.e., queima da biomassa florestal cortada e seca. A esse respeito, 88,5% dos moradores relataram mudanças na mata queimada nos últimos cinco anos. Como consequências da ocorrência de incêndios florestais, foram citadas por um ou mais entrevistados: (1) invasão da floresta queimada por plantas daninhas (Ex: tiririca - *Scleria pterota* C.Presl), (2) dificuldade de locomoção dentro da floresta (perda dos caminhos) para as pessoas, (3) poluição do ar, (4) temperaturas mais elevadas e (5) diminuição da diversidade de animais e plantas na floresta social, ou seja, não apenas na floresta que queimou.

Animais como anta (*Tapirus terrestris*), jabuti (*Chelonoidis carbonaria*), queixada (*Tayassu pecari*) e veado (*Mazama americana*) não foram mais encontrados na floresta social. Com o fogo “*a caça se afugenta, vai para mais longe, vai para outra localidade que dá para*

eles viver, o que fica é só o tatuzinho mesmo que a tiririca não corta o casco deles”. (A.B.S., Morador da Comunidade Mirixituba, Santarém, Pará).

No que se refere às atividades extrativistas, 77 % dos entrevistados informaram praticar a pesca, 51% caçam e 74 % coletam produtos da floresta (Tabela 2). A semente da espécie arbórea Cumaru (*Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd.) também é comercializada pelos moradores, porém, em 2018, houve pouca produção. Neste ano, o Uxi (*Endopleura uchi* (Huber) Cuatrec.), a Castanha-do-Pará (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) e o Piquiá (*Caryocar villosum* (Aubl.)) foram os mais coletados (Tabela 3).

Tabela 3 - Principais espécies coletadas nas atividades extrativistas nas comunidades indígenas Tupinambá da Resex Tapajós-Arapiuns. N= 35.

Produto	Quantidade coletada em 2018
Uxi	103 kg
Casca Preciosa	10 pedaços
Castanha-do-Pará	190 kg
Piquiá	544 unidades = 163 kg
Bacaba	77 cachos
Macaxeira	48 sacos de 60 kg
Palha	130 feixes

Fonte: Autor

Na comparação da quantidade do extrativismo, antes e depois dos eventos de incêndio analisados, os entrevistados apontaram a redução de extrativismo de apenas três produtos (fibra de tipiti⁶, palha e cipó) que são naturalmente conhecidos como mais inflamáveis. Portanto, estes produtos podem ter sentido mais efeito do fogo, tornando-se escassos para a extração. Não se observou influência negativa do fogo nos demais produtos que tiveram um aumento na produção, entre os dois anos estudados (Tabela 4). Outros produtos mencionados foram: leite de sucuba (apenas um morador, em 2018), pupunha (um morador, em 2018) e fruto do jatobá

⁶ Tipiti um tipo de prensa artesanal produzido a partir da folha de uma palmeira. Essa prensa é usada para separação da parte líquida (manipueira) da mandioca, após esta ser ralada, durante o processo de produção de farinha.

(um morador em 2013 e 2018).

Entre os 10 entrevistados que apontaram extrair cipó da floresta, cinco informaram que houve uma redução na produção de cipó em função dos incêndios florestais. Das duas pessoas entrevistadas que retiram material para a produção de tipiti, uma informou não retirar mais, pois os incêndios afetaram e mataram muitas plantas que produzem o material. No caso do extrativismo de palha, duas pessoas afirmaram que o fogo foi o motivo da redução de coleta. Essas informações reforçam que, para cipó, tipiti e palha, o fogo foi um fator que causou a redução das atividades extrativistas.

Tabela 4 - Quantidade de moradores e produtos extrativistas coletados, antes e depois dos eventos de incêndio, nas comunidades indígenas Tupinambá, Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns. N=35

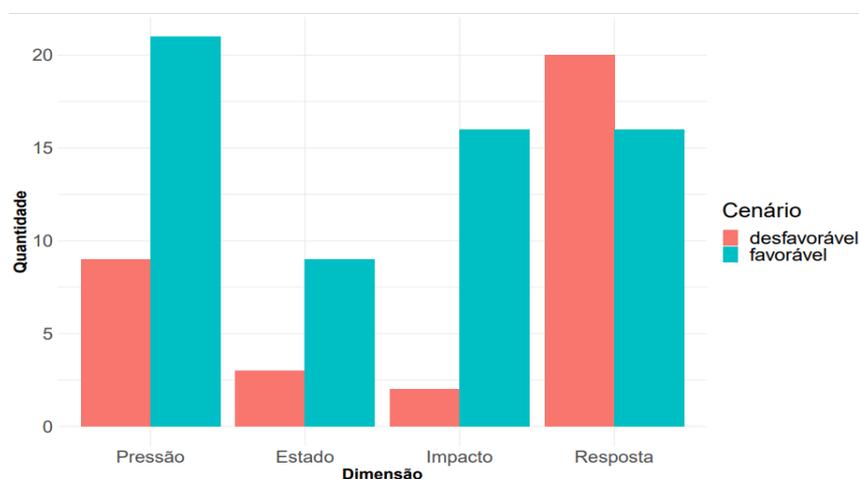
Produtos Extrativistas Coletados	Quantidade de Moradores que Coletaram		
	Total	2013	2018
Uxi	26	21	25
Fibra de Tipiti	2	2	1
Casca Preciosa	11	6	10
Castanha	10	6	8
Piquiá	11	6	11
Bacaba	14	9	12
Palha	18	15	13
Cupuaçu Nativo	9	7	9
Cipó	10	8	5

Fonte: Autor.

2.3.2 Análise das dimensões e cenários PEIR

Considerando-se todos os entrevistados das três comunidades, houve um predomínio da resposta “sim” em relação à presença/ocorrência dos indicadores Pressão, Estado e Impacto, e de “não” em relação aos indicadores de resposta; i.e., cenário favorável à degradação, mas desfavorável em relação à Resposta ou às medidas preventivas/mitigatórias e compensatórias (Figura 5).

Figura 5 - Respostas (em quantidade sim ou não) dos entrevistados nas comunidades indígenas da Resex, quanto aos cenários favoráveis e desfavoráveis para a degradação florestal.



Fonte: Autor.

Avaliando separadamente as comunidades, Mirixituba e Muratuba apresentaram um perfil de resposta muito similar para as dimensões Pressão, Estado e Impacto, reconhecendo o cenário de degradação da floresta (Tabela 5). A comunidade Jaca também apresentou um perfil de resposta similar às outras duas comunidades, mas com uma percepção menos favorável à ocorrência de degradação, particularmente por conta da adoção de medidas (Respostas). Desta forma, houve maior congruência nas respostas relacionadas com Pressão, Estado e Impacto e menor congruência em relação à Resposta, considerando que os dois eixos capturam % da variação nas respostas.

Grande parte da variação (93,6%) nas respostas apresentadas pelos entrevistados foi capturada por dois eixos principais: 84,9% eixo 1 e 8,74% eixo 2 (Figura 6). O eixo horizontal e à direita do gráfico de dispersão agrupa as respostas favoráveis à degradação (i.e., reconhecem a presença de degradação), com base nas questões 7 (Pressão), 13 (Estado) e 21, 24, 27, 28, 29, 31 e 32 (Resposta). À esquerda, temos o lado desfavorável à degradação, representado pelas respostas às questões 4, 5 e 6 (Pressão), 11 e 12 (Estado), mas também desfavorável à dimensão Resposta associadas às questões 22, 23, 26 e 30 (Resposta). Desta forma, houve uma congruência das respostas dadas a determinados conjuntos de questões dentro das diferentes dimensões, as quais resultaram no reconhecimento por parte das comunidades de degradação e presença de resposta.

Entre os indicadores que contribuíram para uma percepção desfavorável à degradação das

florestas sociais, destaca-se o conhecimento da legislação de uso do fogo (questão 5) reportado por uma parte expressiva dos entrevistados. O conhecimento do período de queima do roçado pelos entrevistados das três comunidades; i.e., prática realizada nos meses mais quentes e secos e a obtenção de autorização do ICMBio para fazer queimadas nos roçados também se associaram negativamente à possibilidade de degradação (Figura 5). Nesse sentido, os comunitários de Muratuba e Jaca afirmaram solicitar essa autorização, enquanto essa resposta não foi comum em Mirixituba.

O principal indicador de pressão correlacionado com a degradação foi o conhecimento da origem do fogo (pergunta 7). Entre as comunidades, em Muratuba e Jaca foi incomum saber a origem da ocorrência do fogo, entretanto, pouco mais da metade dos entrevistados de Mirixituba relataram ter esse conhecimento.

Tabela 5 - Indicadores e variáveis de Pressão, Estado, Impacto, Resposta associados aos cenários de degradação florestal nas comunidades Muratuba, Mirixituba e Jaca, RESEX Tapajós Arapiuns.

(continua)

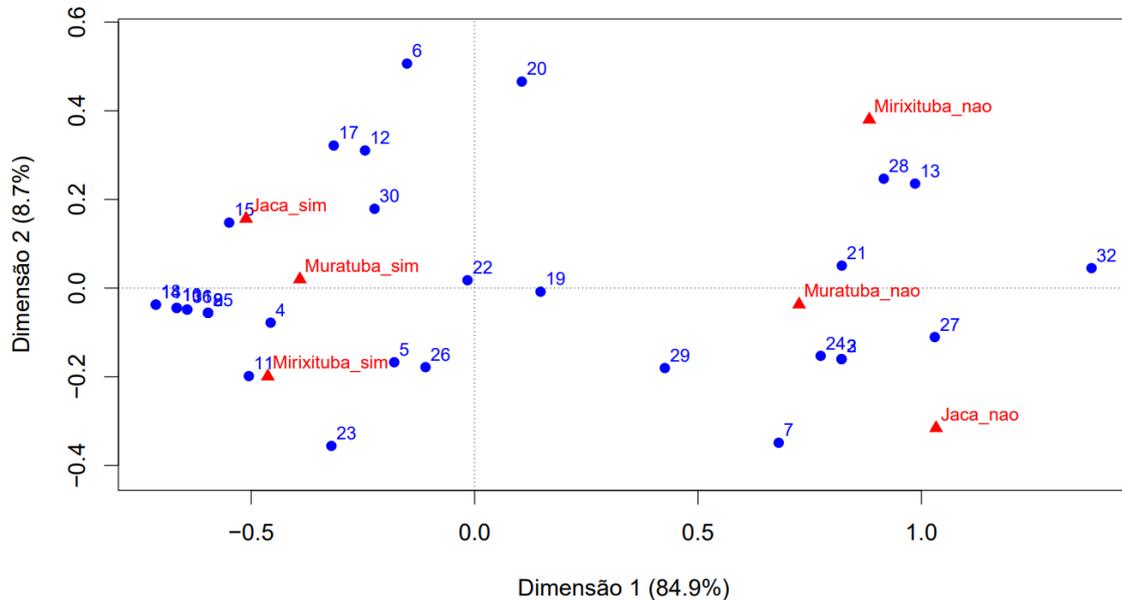
VARIÁVEIS	COMUNIDADES INDÍGENAS			
	MURATUBA	MIRIXITUBA	JACA	
PRESSÃO	1. Roçado com uso do fogo	PRESENÇA	PRESENÇA	PRESENÇA
	2. Local do roçado preferencialmente na floresta	AUSÊNCIA	AUSÊNCIA	AUSÊNCIA
	3. Cuidado com o fogo	AUSÊNCIA	AUSÊNCIA	AUSÊNCIA
	4. Queima nos meses mais quentes e mais secos	PRESENÇA	PRESENÇA	PRESENÇA
	5. Conhecimento da legislação de uso do fogo	PRESENÇA	PRESENÇA	PRESENÇA
	6. Autorização do ICMBio	PRESENÇA	AUSÊNCIA	PRESENÇA
	7. Conhecimento da origem do fogo	AUSÊNCIA	PRESENÇA	AUSÊNCIA
	8. Frequência de uso de fogo para atividades	PRESENÇA	PRESENÇA	PRESENÇA
	9. Redução da oferta de caça e captura de animais	PRESENÇA	PRESENÇA	PRESENÇA
	10. Perda de floresta próximo da comunidade	PRESENÇA	PRESENÇA	PRESENÇA
ESTADO	11. Área protegida pelas comunidades	PRESENÇA	PRESENÇA	PRESENÇA
	12. Floresta mais seca e com mais material combustível (galhos e folhas secas)	PRESENÇA	PRESENÇA	PRESENÇA
	13. Diversidade de espécies de caça na comunidade	AUSÊNCIA	AUSÊNCIA	AUSÊNCIA
	14. Diversidade de fauna e flora prejudicada	PRESENÇA	PRESENÇA	PRESENÇA

(conclusão)

	VARIÁVEIS	COMUNIDADES INDÍGENAS		
		MURATUBA	MIRIXITUBA	JACA
IMPACTO	15. Incêndios na comunidade	PRESENÇA	PRESENÇA	PRESENÇA
	16. Disponibilidade de espécies de plantas inflamáveis (palmeiras e tiririca) na Floresta	PRESENÇA	PRESENÇA	PRESENÇA
	17. Mudanças na vida com empobrecimento das famílias	PRESENÇA	PRESENÇA	PRESENÇA
	18. Aspectos negativos depois das queimadas	PRESENÇA	PRESENÇA	PRESENÇA
	19. Mudanças com empobrecimento da mata	PRESENÇA	PRESENÇA	PRESENÇA
	20. Doenças Respiratórias	AUSÊNCIA	AUSÊNCIA	PRESENÇA
RESPOSTA	21. Participação em capacitação	AUSÊNCIA	AUSÊNCIA	AUSÊNCIA
	22. Acordo/regra local do uso do fogo	PRESENÇA	PRESENÇA	PRESENÇA
	23. Uso de Técnicas de prevenção de incêndios	PRESENÇA	PRESENÇA	PRESENÇA
	24. Preparo de área para a roça sem uso de fogo	AUSÊNCIA	AUSÊNCIA	AUSÊNCIA
	25. Cuidado no uso do fogo, isto é, proteção das áreas produtivas contra o fogo (aceiros)	PRESENÇA	PRESENÇA	PRESENÇA
	26. Regeneração florestal para recuperar	PRESENÇA	PRESENÇA	PRESENÇA
	27. Proatividade para ajudar na regeneração	AUSÊNCIA	AUSÊNCIA	AUSÊNCIA
	28. Áreas proibidas para corte de árvores e queimadas	PRESENÇA	AUSÊNCIA	AUSÊNCIA
	29. Manutenção da floresta	AUSÊNCIA	PRESENÇA	AUSÊNCIA
	30. Ações públicas	PRESENÇA	PRESENÇA	PRESENÇA
	31. Atividades comunitárias	PRESENÇA	PRESENÇA	PRESENÇA
	32. Investimentos públicos	AUSÊNCIA	AUSÊNCIA	AUSÊNCIA

Fonte: Autor.

Figura 6 - Gráfico de dispersão da análise de correspondência do subespaço definido pelas dimensões 1 e 2 (dados apresentados no Apêndice B).



Fonte: Autor.

Apenas dois indicadores/variáveis de Estado se correlacionaram em termos de resposta e se associaram de forma desfavoráveis à degradação, conforme análise de correlação. A primeira foi a presença de áreas de floresta protegida (11), resposta comum às três comunidades e a segunda foi a presença de áreas de florestas mais secas e com mais material combustível como galhos e folhas secas sobre o solo (questão 12). Esta presença foi reconhecida pelos entrevistados das três comunidades (Figura 6).

Em relação às variáveis que se correlacionaram em termos de Resposta e deram origem a um cenário favorável à degradação (Figura 6, lado direito), destacaram-se a ausência de participação em capacitações (questão 21) e a falta de alternativa ao roçado tradicional, ou seja, alternativas para o preparo de área sem uso do fogo (24). A ausência dessas alternativas predominou nas três comunidades conforme as respostas. Em relação à regeneração natural da floresta após a ocorrência de incêndios, as três comunidades manifestaram o mesmo comportamento de não apresentar proatividade em ajudar a regeneração da floresta (27) usando técnicas de proteção e manejo. Esperava-se um enriquecimento com espécies florestais madeireiras e não madeireiras de valor sociocultural e econômico que aumentaria o valor da floresta. Ainda no tocante aos comportamentos comuns, entre as três comunidades, a ausência de investimentos públicos (32) pelo Estado e a presença de atividades comunitárias (31)

também se correlacionaram com a degradação.

Neste contexto de indicadores correlacionados com a degradação, é importante destacar também aqueles para os quais as respostas não foram congruentes entre as três comunidades. Em relação à presença de áreas proibidas de corte e queima de árvores (28), a comunidade de Muratuba reportou adoção, enquanto os entrevistados de Mirixituba e Jaca não reportaram essa prática. A percepção das comunidades sobre o esforço para manutenção da floresta (questão 29) foi diferente entre as comunidades. Enquanto Mirixituba declarou perceber as ações para não permitir desmatar, controlar as queimadas, reflorestar e introduzir novas técnicas alternativas para agricultura que contribuem para a manutenção da floresta, Muratuba e Jaca não reconheceram essas medidas.

Quanto às variáveis correlacionadas de forma desfavoráveis à degradação (Figura 6, lado esquerdo), as três comunidades responderam de forma semelhante e reconhecem o esforço do controle no uso do fogo com a presença de acordos e regras locais (questão 22) e o uso de técnicas de prevenção de incêndios (23). Outras duas variáveis correlacionadas com a degradação foram: 1) ações do poder público (30) que, embora sejam intermitentes e muito relacionadas com variação da maior ou menor ocorrência de grandes queimadas em anos anteriores, estas quando ocorrem favorecem a organização social e o planejamento da ocupação, e 2) ocorrência da regeneração florestal (26) que recupera naturalmente as áreas incendiadas. Neste ponto, foi relatado que, dependendo da recorrência e intensidade do fogo, o estoque de florestas na comunidade é afetado, assim como a sua capacidade de regeneração natural.

É importante destacar a importância da governança local nas estratégias de uso do fogo e combate aos incêndios florestais. Dos 35 entrevistados, 29 responderam ter algum acordo local (entre eles) para uso do fogo, destes, oito entrevistados relataram a necessidade de trabalhar coletivamente para a realização do aceiro e/ou contrafogo, havendo então uma organização, embora incipiente, para o trabalho coletivo. Todavia, todos os entrevistados relataram clareza sobre as boas práticas de uso do fogo para manejo de área, destacando principalmente o aceiro, horário de uso do fogo e direção do vento. Além disso, relataram conversar entre os comunitários acerca dessas regras e da importância desse diálogo para tomadas de decisões sobre tamanho de aceiro, melhor horário de fogo, necessidade de avisar a associação e pegar autorização de uso do fogo no ICMBIO.

2.4 Discussão

De forma geral, os resultados sugerem uma enorme dependência das populações pela floresta social. Destaca-se o caso da mandioca que é produzida a partir dos nutrientes providos pela queima da biomassa da floresta, pois sua farinha tem importância central na segurança alimentar das famílias, sendo a venda a principal fonte de renda das comunidades. Da mesma forma, as comunidades percebem sua vulnerabilidade à degradação florestal, bem como os fatores-chaves relacionados à origem e aos efeitos dos incêndios florestais, seus impactos sobre a floresta e seus serviços. As comunidades também percebem medidas capazes de reduzir o risco de incêndios e mitigar seus efeitos sobre a floresta social (i.e., degradação), embora haja uma variação de percepção entre os indivíduos e comunidades, particularmente no que se refere a indicadores de degradação.

Independente da variação, a congruência das respostas dadas à subconjuntos de variáveis indicadoras faz emergir percepções “coletivas” incluindo fatores causais, efeitos e mitigação, os quais se integram em duas visões um pouco contrastantes: (1) ocorrência de um cenário ou contexto socioecológico que favorece a degradação, pois integra atividades e práticas locais que favorecem à ocorrência de incêndios com a ausência de iniciativas de resposta; i.e., visão predominante, e (2) contexto socioecológico que favorece pouco à degradação da floresta social e seus efeitos, particularmente pela adoção de medidas.

Para a emergência destas “visões” comuns, alguns indicadores correlacionados em termos de percepção são fundamentais. Na dimensão Pressão, comunidades que desconhecem a origem do fogo (Muratuba e Mirixituba) se tornam mais vulneráveis aos incêndios que degradam a floresta, entretanto, o comportamento inverso, caso da comunidade do Jaca, facilita a prevenção e o seu controle. O conhecimento da legislação de uso do fogo e do período de queima do roçado atuam de forma desfavorável à degradação das florestas sociais. No caso da legislação, as regras estabelecidas e a atribuição das penalidades aos infratores deixam os comunitários em alerta e contribuem para sua conscientização. A prática de queimar o roçado no mês de outubro (período mais quente e seco), do ponto de vista técnico, deveria ser evitada para reduzir o risco de o fogo escapar e queimar áreas de floresta que, neste período, estão bastante vulneráveis a ele. Mesmo assim, eles preferem correr esse risco de degradação em favor de ter os roçados bem queimados, pois acreditam que isso facilita o cultivo da mandioca e de outros produtos alimentares.

É importante ressaltar que a literatura assinala enorme discrepância entre a política de combate ao fogo e a prática das comunidades da Resex e adjacências. Três disparidades são

apontadas: 1) regras dissociadas da realidade local por desconhecimento da capacidade técnica da comunidade (p. ex: largura do aceiro); 2) regras que comprometem a exigência local de uma “boa queima” (p. ex: horário da queima); 3) regras que são culturalmente inapropriadas (p. ex: avisar os membros da comunidade três dias com antecedência) (Carmenta *et al.*, 2013). Esse tipo de situação precisa ser colocado em discussão no diálogo com as comunidades da Resex, e ser mais bem compreendida sua motivação, percepção, a fim de serem elaboradas alternativas, tendo em vista seu alto potencial causador de incêndios e degradação florestal.

Na dimensão Estado, a presença de fragmentos de florestas sociais protegidas e próximas às comunidades são importantes pelo seu valor socioeconômico e cultural e por serem ricas em espécies úteis, como frutíferas, locais de caça ou fonte de matéria prima florestal. Por esses motivos, a presença destas áreas desfavorece a degradação florestal. No entanto, devido ao aumento do risco de incêndio associado às mudanças climáticas, as percepções dos comunitários em relação ao papel da floresta no controle dos incêndios podem estar desatualizadas.

Em relação às Respostas das comunidades, a existência de regras locais de uso do fogo, embora não sejam integralmente eficazes, podem evitar os incêndios florestais, pois é comum as lideranças comunitárias mobilizarem os moradores para discussões sobre os problemas causados pelo fogo, a fim de ficarem atentos no período das queimadas aos cuidados necessários e discutirem sobre técnicas de prevenção e controle do fogo, em especial o uso de aceiros em áreas de roçados. No entanto, dois problemas frequentes que enfraquecem essa tomada de posição são a baixa participação dos moradores e a descontinuidade ao longo dos anos, haja vista que o comportamento das comunidades varia.

Os estudos aqui referenciados confirmam a dependência de populações tradicionais em relação aos serviços ecossistêmicos prestados pelas florestas sociais, neste caso, os serviços de provisão, como os nutrientes para a produção agrícola (Lambin; Meyfroidt, 2011). De fato, muitos pequenos agricultores nas regiões de fronteira na Amazônia estão presos a um padrão de baixo rendimento e práticas agrícolas altamente degradantes (Garrett *et al.*, 2021) e com alto risco de incêndio. Em geral, a utilidade do fogo na agricultura de corte e queima é pouco reconhecida no nível político, sendo considerado uma prática atrasada e irracional (Padoch; Pinedo-Vasquez, 2010). Mesmo considerando que as visões/percepções emergem a partir de respostas às perguntas apresentadas, as comunidades reconhecem e se apropriam de processos relacionados às potenciais fontes de degradação, como os incêndios, seus impactos e a necessidade de ações, e o que limita também a adoção. Esta capacidade de perceber relações

causais, incluindo aquelas que se referem as suas próprias práticas, e construir visões relativamente consistentes da realidade, segundo o critério de pesquisadores, têm sido reportadas na literatura (Mantyka-Pringle *et al.*, 2017; Agudelo *et al.*, 2020; Azevedo *et al.*, 2022; Merçon *et al.*, 2019). De fato, os moradores locais reconheceram a caça e o extrativismo florestal excessivos, o desmatamento para implantação das roças de corte e queima, os fogos florestais acidentais, a falta de planejamento de uso da terra, a carência de incentivos, a organização social dividida e a colaboração institucional precária enquanto fatores chaves na dinâmica incêndio-degradação.

É importante ressaltar o reconhecimento do fogo utilizado no preparo das roças como uma das causas dos incêndios. Da mesma forma, “paus caídos, solo seco, ocorrência de tiririca, mato mais fino, pedaços de madeira queimada, dificuldade de adentrar na mata” caracterizam as percepções de degradação da floresta social pelos incêndios. Especificamente neste contexto de incêndios em florestas sociais, há poucas informações na literatura que permitam concluir o quanto desta percepção é generalizada entre comunidades tradicionais na Amazônia e em outras florestas tropicais ou reflete características únicas das comunidades da Resex, como o longo histórico de organização social e o diálogo constante com pesquisadores, gestores da UC e ONGs ativas na região (Monteiro, 2021). Nesse contexto, as comunidades da Resex, que foram afetadas pelo incêndio de 1998, têm uma compreensão crescente de que o fogo pode ficar incontrolável e causar impactos significativos nas florestas e nos usos da terra (Carmenta *et al.*, 2013).

De fato, o reconhecimento de indicadores e suas conexões causais (parte deles com suporte na literatura científica) pelas comunidades indígenas da Resex indica uma percepção bastante abrangente da dinâmica fogo-degradação, embora os incêndios florestais acidentais e de grandes proporções possam ser considerados relativamente recentes. Em outras palavras, apesar de estas populações estarem presentes na Resex desde os primórdios da ocupação da Amazônia por ameríndios e da ocupação europeia e africana desde o processo de colonização efetiva da região (século 17), os incêndios florestais acidentais de grandes proporções provavelmente não faziam parte da realidade e tão pouco operaram historicamente enquanto fator de adaptação econômica, cultural e ecológica destas populações. Assim, esta percepção, provavelmente, decorre, como hipótese de trabalho, da ocorrência de incêndios devastadores (2015 e 2017) e da experiência direta com seus impactos, conforme relatado: escassez de caça, proliferação de animais peçonhentos, morte das árvores frutíferas, para mencionar alguns. Adicionalmente, o fluxo de informações entre as comunidades e entre estas e atores ativos na

região (universidades, ONGs, gestores do ICMBio) provavelmente permitem perceber potenciais conexões entre as atividades locais, mudanças climáticas/secas, ocorrência de incêndios acidentais, impactos e ações de prevenção e mitigação, como a restauração das florestas sociais. Se esta hipótese deste trabalho está correta, a percepção “abrangente” apresentada pelas comunidades indígenas da Resex não é uma generalidade na região, considerando o grau de isolamento geográfico e social de muitas populações tradicionais, incluindo uma fraca presença das agências de estado. Mas sem dúvida, a percepção das populações tradicionais diante de um problema ambiental de alta magnitude como os incêndios, parte de determinadas condições sociais de existência.

A análise das entrevistas e a literatura já produzida na região (Peres *et al.*, 2003; Carmenta *et al.*, 2013; Barlow *et al.*, 2021; Withey *et al.*, 2018; Berenguer *et al.*, 2021; Spinola *et al.*, 2020) mostram que as comunidades indígenas da Resex se encontram em um cenário de vulnerabilidade aos incêndios florestais. De fato, os modelos sugerem a ocorrência de extremos climáticos com maior frequência na região Amazônica, incluindo as secas severas, associados ao fenômeno do *El Niño* (Barlow *et al.*, 2021), condição relacionada à ocorrência de grandes incêndios na região do Tapajós (Withey *et al.*, 2018; Berenguer *et al.*, 2021). A floresta Amazônica pode se converter em um tipo de vegetação com biomassa reduzida, sem estrutura florestal e com diversidade de espécies reduzida como consequência da combinação de perturbações antrópicas locais (e.g., extração de madeira, perda e fragmentação de habitats), secas severas e incêndios florestais (Brando *et al.*, 2020).

Todavia, uma percepção abrangente da dinâmica incêndio-degradação pelas comunidades indígenas, as quais são em parte corresponsáveis pelo problema, mas constituem um dos atores mais afetados negativamente, cria uma perspectiva positiva para ações e programas. Pelo menos dois cenários podem ser projetados: (1) continuidade do processo de degradação, a partir da manutenção das práticas atuais, ou (2) redução dos incêndios e mitigação de seus efeitos, por meio de um conjunto de melhores práticas a serem adotadas pelas comunidades. No que se refere à prevenção, citam-se a construção de aceiros, convidar os vizinhos para acompanhar a queimada das roças e realizá-las nos horários com menos vento e horários menos quentes do dia. Quanto à mitigação dos efeitos, ressaltam-se a restauração florestal, inclusive a abordagem biocultural com espécies de valor social, econômico e ambiental, preservação de fragmentos florestais e o plantio em sistemas agroflorestais. Estas práticas têm reconhecimento tanto entre os tradicionais (conforme esta pesquisa) quanto entre os pesquisadores devotados ao problema da degradação-reprodução social de comunidades tradicionais (Celentano *et al.*, 2014; Loch *et*

al., 2023).

De qualquer modo, há uma série de barreiras que apontam para as dificuldades de se implantar essas alternativas nas comunidades rurais da Amazônia. Ressaltam-se, neste aspecto, acesso insuficiente à assistência técnica, necessidade de maior número de horas de trabalho dedicado ao cultivo com sistemas agropecuário-florestais, baixo investimento em pesquisa e desenvolvimento de SAFs e entraves à obtenção de crédito para o financiamento de SAF (Morello *et al.*, 2017). É comum observar a falta de políticas públicas nas comunidades amazônicas, sujeitas a incêndios florestais (Carmenta *et al.*, 2011; Morello *et al.*, 2017). No caso dos investimentos públicos, faltam incentivos de políticas públicas que cheguem até as comunidades Tupinambás, da Resex, a exemplo de investimentos de recursos em assistência técnica e extensão rural, educação ambiental, crédito e fomento à conservação da floresta e produção agroflorestal que poderiam reduzir a degradação e incentivar o manejo florestal sustentável e a recuperação das áreas já degradadas. No caso das atividades comunitárias, o fato de estarem presentes como variáveis favoráveis à degradação é paradoxal, pois ações coletivas deveriam ser desejáveis para a prevenção e controle do fogo e apresentar efeito contrário à degradação.

2.5 Conclusão

As comunidades indígenas da Resex se encontram em um cenário favorável à ocorrência da degradação florestal, ocasionada, sobretudo pelos incêndios florestais, e se reconhecem vulneráveis à ocorrência do fogo, particularmente em épocas de seca severa. Além disso, essas comunidades percebem perdas sociais, econômicas e ambientais, entretanto, estão dispostas a atuar na restauração das florestas queimadas para restabelecer as perdas causadas pelo fogo

Na Resex, as decisões sobre o uso e manejo do fogo são feitas localmente e coordenadas pelo ICMBio, portanto, a intervenção potencial passa por ajustes na escala local (comunidades) e na de políticas públicas. Em relação às intervenções potenciais, na escala local, haveria necessidade de ajustes nas ações coletivas do extrativismo da floresta (acordos de caça e manejo de produtos florestais madeireiros e não madeireiros), maior rigor nas regras e aplicação de técnicas de queima controlada e apoio ao combate a incêndios, incentivo à adoção de atividades agrícolas alternativas como mecanização com uso de pequenas máquinas e implementos agrícolas (roça sem fogo), sistemas agroflorestais diversificados e atividades de agregação de valor aos produtos e da restauração florestal biocultural e reflorestamento social com uso de

espécies de valor social e econômico.

Na escala de políticas públicas, urge a necessidade de assistência técnica e extensão rural extrativista que oriente o planejamento e manejo de queimadas, práticas de produção agrícola alternativas e o manejo florestal comunitário, valorização e incentivo à conservação e à “restauração biocultural”, e de atividades de fomento florestal e pagamento por serviços ambientais, fortalecimento das associações e cooperativas, garantia de direitos ao território e parcerias com instituições científicas, ministério público e ONGs.

Por fim, é fundamental compreender que a Resex, com sua exuberante área de 690.070 ha e suas florestas sociais, continua sendo a melhor estratégia de uso e conservação desses recursos florestais e preservação dos modos de vida das comunidades indígenas do Tapajós, no entanto, sofre ameaças de degradação pelos impactos do fogo e que podem ser revertidas com ajustes e intervenções nas comunidades e políticas públicas.

Referências

- AGUDELO, C. A. R. *et al.* Planejamento do uso da terra na bacia amazônica: desafios do pensamento de resiliência. **Ecologia e Sociedade**, v. 25, n.1, 2020.
- ALBERTI, G. CAinterprTools: an R package to help interpreting correspondence analysis' results. **SoftwareX**, v. 1, p. 26-31, 2015.
- ARAÚJO, R. *et al.* Territórios e alianças políticas do pós-ambientalismo. **Estudos Avançados**, v. 33, p. 67-90, 2019.
- ARROYO-RODRÍGUEZ, V. *et al.* Designing optimal human-modified landscapes for forest biodiversity conservation. **Ecology Letters**, v. 23, n. 9, p. 1404–1420, 15 jun. 2020.
- AZEVÊDO, E. L. *et al.* Perception of the local community: what is their relationship with environmental quality indicators of reservoirs? **Plos one**, v. 17, n. 1, p. e0261945, 2022.
- BARLOW, J. *et al.* Anthropogenic disturbance in tropical forests can double biodiversity loss from deforestation. **Nature**, v. 535, p. 144–147, 2016.
- BARLOW, J. *et al.* Chapter 29: Restoration priorities and benefits within landscapes and catchments and across the Amazon basin. **UN Sustainable Development Solutions Network (SDSN) eBooks**, 12 nov. 2021.
- BARLOW, J. *et al.* Clarifying Amazonia's burning crisis. **Global Change Biology**, v. 26, n. 2, p. 319-321, 2020.
- BARLOW, J. *et al.* The future of hyperdiverse tropical ecosystems. **Nature**, v. 559, n. 7715, p. 517-526, 2018.

BENNET, N. Using perceptions as evidence to improve conservation and environmental management. **Conservation Biology** v. 30, n. 3, p. 582-92, 2016.

BERENGUER, E. *et al.* Tracking the impacts of El Niño drought and fire in human-modified Amazonian forests. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 118, n. 30, p. e2019377118, 2021.

BLACK, C. *et al.* Wildfire smoke exposure and human health: Significant gaps in research for a growing public health issue. **Environmental toxicology and pharmacology**, v. 55, p. 186-195, 2017.

BONILLA-ALDANA, D. *et al.* Brazil burning! What is the potential impact of the Amazon wildfires on vector-borne and zoonotic emerging diseases? – A statement from an international experts meeting. **Travel Medicine and Infectious Disease** 31, 2019.

BRANCALION, P. *et al.* Global restoration opportunities in tropical rainforest landscapes. **Science advances**, v. 5, n. 7, p. eaav3223, 2019.

BRANDO, P. *et al.* Amazon wildfires: Scenes from a foreseeable disaster. **Flora**, v. 268, p. 151609, 2020.

BUSCHBACHER, R. A Teoria da Resiliência e Os Sistemas Socioecológicos: como se preparar para um futuro imprevisível? **Boletim Regional, Urbano e Ambiental / Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA)**, 11, 2014.

CALMON, M. Restauração de florestas e paisagens em larga escala: o Brasil na liderança global. **Ciência e Cultura**, v. 73, n. 1, p. 44-48, 2021.

CAMMELLI, F. *et al.* Smallholders' perceptions of fire in the Brazilian Amazon: exploring implications for governance arrangements. **Human Ecology**, v. 47, p. 601-612, 2019.

CARMENTA, R. *et al.* Shifting cultivation and fire policy: insights from the Brazilian Amazon. **Human ecology**, v. 41, p. 603-614, 2013.

CARMENTA, R. *et al.* Understanding human-fire interactions in tropical forest regions: a case for interdisciplinary research across the natural and social sciences. **Ecology and society**, v. 16, n. 1, 2011.

CARR, E. *et al.* Applying DPSIR to sustainable development. **International journal of sustainable development & world ecology**, v. 14, n. 6, p. 543-555, 2007.

CELENTANO, D. *et al.* Perceptions of environmental change and use of traditional knowledge to plan riparian forest restoration with relocated communities in Alcântara, Eastern Amazon. **Journal of ethnobiology and ethnomedicine**, v. 10, n. 1, p. 1-14, 2014.

CHAZDON, R; URIARTE, M. Natural regeneration in the context of large-scale forest and landscape restoration in the tropics. **Biotropica**, v. 48, n. 6, p. 709-715, 2016.

COCKS, M. Biocultural diversity: moving beyond the realm of 'indigenous' and 'local' people. **Human Ecology**, v. 34, n. 2, p. 185-200, 2006.

COIMBRA, J. A. A. Linguagem e percepção ambiental. In: PHILIPPI-JR, Arlindo; ROMERO, Marcelo de Andrade; BRUNA, Gilda Collet (Orgs). **Curso de Gestão Ambiental**. Barueri: Manole, 2004, p. 525–570.

EDWARDS, D. *et al.* Conservation of tropical forests in the anthropocene. **Current Biology**, v. 29, n. 19, p. R1008-R1020, 2019.

FOLEY, J. *et al.* Amazonia revealed: forest degradation and loss of ecosystem goods and services in the Amazon Basin. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 5, n. 1, p. 25-32, 2007.

GARI, S. *et al.* A review of the application and evolution of the DPSIR framework with an emphasis on coastal social-ecological systems. **Ocean & Coastal Management**, v. 103, p. 63-77, 2015.

GARRETT, R. *et al.* Forests and sustainable development in the Brazilian Amazon: history, trends, and future prospects. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 46, p. 625-652, 2021.

HANSPACH, J. *et al.* Biocultural approaches to sustainability: A systematic review of the scientific literature. **People and Nature**, 2020.

ICMBIO - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Plano de Manejo da Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns** – Volume 1: Diagnóstico. ICMBio, Santarém, 2014.

LAMBIN, E; MEYFROIDT, P. Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. **Proceedings of the national academy of sciences**, v. 108, n. 9, p. 3465-3472, 2011.

LAPOLA, D. *et al.* The drivers and impacts of Amazon forest degradation. **Science**, v. 379, n. 6630, p. eabp8622, 2023.

LEBART, L. *et al.* **Multivariate descriptive statistical analysis; correspondence analysis and related techniques for large matrices**. New York: J. Wiley & Sons, 1984.

LOCH, V. *et al.* Forest species for biocultural restoration in eastern Amazon, Brazil. **Ethnobiology and Conservation**, v. 12, 2023.

MALHI, Y. *et al.* Tropical forests in the Anthropocene. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 39, p. 125-159, 2014.

MANTYKA-PRINGLE, C. *et al.* Bridging science and traditional knowledge to assess cumulative impacts of stressors on ecosystem health. **Environment International**, v. 102, p. 125-137, 2017.

MARENGO, J.; SOUZA, C. **Mudanças Climáticas: impactos e cenários para a Amazônia**. São Paulo: Alana, 2018.

MATRICARDI, E. *et al.* Long-term forest degradation surpasses deforestation in the Brazilian Amazon. **Science**, v. 369, n. 6509, p. 1378-1382, 2020.

MERÇON, J. *et al.* From local landscapes to international policy: contributions of the biocultural paradigm to global sustainability. **Global Sustainability**, v. 2, p. e7, 2019.

MONTEIRO, R. **Amazônia: espaço-estoque, a negação da vida e esperanças teimosas**. 1. ed. Belém: Editora: Dalcídio Jurandir. Imprensa Oficial do Oeste do Pará, v. 1. 280p, 2021.

MORELLO, T. *et al.* Queimadas e incêndios florestais na amazônia brasileira: porque as políticas públicas têm efeito limitado? **Ambiente & Sociedade**, v. 20, p. 19-38, 2017.

NEPSTAD, D. *et al.* Interactions among Amazon land use, forests and climate: prospects for a near-term forest tipping point. **Philosophical transactions of the royal society B: biological sciences**, v. 363, n. 1498, p. 1737-1746, 2008.

PACHECO, E; SILVA, H. P. **Compromisso Epistemológico do Conceito de Percepção Ambiental**. Rio de Janeiro: Departamento de Antropologia, Museu Nacional e Programa EICOS/UFRJ, 2007.

PADOCH, C; PINEDO-VASQUEZ, M. Saving slash-and-burn to save biodiversity. **Biotropica**, v. 42, n. 5, p. 550-552, 2010.

PEREIRA, C.A. *et al.* Restoring fire-degraded social forests via biocultural approaches: a key strategy to safeguard the Amazon legacy. **Restoration Ecology**, v. 31, n. 8, Nov 2023.

PERES, C. *et al.* Vertebrate responses to surface wildfires in a central Amazonian forest. **Oryx**, v. 37, n. 1, p. 97-109, 2003.

PORTO-GONÇALVES, C; LEFF E. Political ecology in Latin America: the social re-appropriation of nature, the reinvention of territories and the construction of an environmental rationality. **Desenvolvimento e meio ambiente**, v. 35, n. 1, p. 65-88, 2015.

SENA, P. *et al.* Biocultural restoration improves delivery of ecosystem services in social-ecological landscapes. **Restoration Ecology**, v. 30, n. 5, p. e13599, 2022.

SILVA-JUNIOR, C. *et al.* Brazilian Amazon indigenous territories under deforestation pressure. **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, p. 5851, 2023.

SMEETS, E; WETERINGS, R. **Environmental Indicators: Typology and Overview**. Technical Report, n. 25. European Environment Agency, Copenhagen. 1999.

SOUZA-ALONSO, P. *et al.* Post-fire ecological restoration in Latin American forest ecosystems: Insights and lessons from the last two decades. **Forest Ecology and Management**, v. 509, p. 120083, 2022.

SPINOLA, J. *et al.* A shared perspective on managing Amazonian sustainable-use reserves in an era of megafires. **Journal of Applied Ecology**, v. 57, n. 11, p. 2132-2138, 2020.

TAPAJÓS, I; SILVA NETO, N. M. Emergência indígena e abertura da história no Baixo Tapajós. **Revista Ciências da Sociedade**, v. 3, p. 14-38, Ago 2019.

THOMPSON, I. *et al.* An operational framework for defining and monitoring forest degradation. **Ecology and Society**, v. 18, n. 2, 2013.

TOLEDO, P. *et al.* Development paradigms contributing to the transformation of the Brazilian Amazon: do people matter? **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 26, p. 77-83, 2017.

TOLEDO, V. M.; BARREIRA-BASSOLS, N. **La memória biocultural: la importância ecológica de las sabidurías tradicionales**. Barcelona: Icaria Editorial, 2008.

VASCO, A. P.; ZAKRZEVSKI, S. B. B. O Estado da Arte das Pesquisas sobre Percepção Ambiental no Brasil. **Perspectiva, Erechim**. v.34, n.125, p. 17-28, 2010.

VAZ FILHO, Florêncio Almeida. **A Emergência étnica dos povos indígenas do baixo Rio Tapajós, Amazônia**. 2010. 478 f. Tese (Doutorado em Ciências Sociais) Programa de Pós-Graduação em Ciências Sociais - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2010.

WITHEY, K. *et al.* Quantifying immediate carbon emissions from El Niño-mediated wildfires in humid tropical forests. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 373, n. 1760, p. 20170312, 2018.

3 FREQUÊNCIA DE INCÊNDIOS MOLDA AS RESPOSTAS DA VEGETAÇÃO AO FOGO NA AMAZÔNIA

Resumo

A dinâmica florística e estrutural das florestas tropicais úmidas, após a degradação pelo fogo, permanece em grande parte desconhecida. No entanto, estas dinâmicas interferem no armazenamento de carbono florestal e na conservação da biodiversidade. A Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns (Resex) tem sido afetada por incêndios de grande magnitude, principalmente quando há seca causada pelo fenômeno *El Niño* (ENSO – El Niño Southern Oscillation). Em 2015, as florestas da Resex foram acidentalmente queimadas e, em 2017, um novo incêndio se alastrou. O objetivo deste estudo é avaliar o impacto da frequência de incêndios (Floresta não queimada, queimada uma vez e duas vezes) na estrutura, diversidade e composição florística das florestas de terra firme desta Resex. Foram realizados inventários em parcelas de 2500 m², identificando as espécies e medindo altura total e diâmetro a altura do peito (DAP) em três estratos de vegetação (árvores e palmeiras com DAP \geq 10 cm, DAP entre 2 e 9,9 cm e regeneração natural, acima 1 m de altura). As variações estruturais e florísticas foram testadas, respectivamente, usando modelos mistos lineares generalizados (GLMM) e ordenação de coordenadas principais (PCoA). Os resultados obtidos mostraram que a perturbação induzida pela frequência dos incêndios reduziu a biomassa aérea da vegetação, a riqueza e diversidade de espécies e aumentou a similaridade florística. Os incêndios florestais frequentes podem levar a mudanças drásticas na estrutura e na composição da floresta amazônica evidenciando a necessidade urgente de intervenções políticas para reverter essa situação.

Palavras-chave: degradação florestal; Amazônia; El Niño; diversidade; composição florística; incêndio; carbono florestal.

Abstract

The floristic and structural dynamics of tropical moist forests after degradation by fire remains largely unknown. However, these dynamics interfere with the forest carbon cycle, biodiversity conservation and need to be better understood. The Tapajós-Arapiuns Extractive Reserve (Resex) has been affected by fires of great magnitude, especially when there is drought caused by the El Niño phenomenon (ENSO – El Niño Southern Oscillation). In 2015 the forests of Resex were accidentally burned and in 2017 a new fire spread. The objective of this study is

to evaluate the impact of the frequency of fires (unburned forest, burned once and twice) on the structure, diversity and floristic composition of the terra firme forests of this Resex. Inventories were carried out in plots of 2500 m², identifying the species and measuring total height and diameter at breast height (DBH) in three vegetation strata (trees and palm trees with DBH \geq 10 cm, DBH between 2 and 9.9 cm and natural regeneration, above 1 m in height). Structural and floristic variations were tested, respectively, using generalized linear mixed models (GLMM) and principal coordinate ordering (PCoA). The results showed that the disturbance induced by the frequency of the fires reduced the aerial biomass of the vegetation, the richness and diversity of species and increased the floristic similarity. Frequent forest fires can lead to drastic changes in the structure and composition of the Amazon rainforest, highlighting an urgent need for policy interventions to reverse this situation.

Key-words: forest degradation; Amazon; El Niño; diversity; floristic composition; fire; forest carbon.

3.1 Introdução

As florestas tropicais são habitats insubstituíveis em relação à conservação da biodiversidade e à prestação de outros serviços ecossistêmicos de relevância global, como a regulação climática e proteção de mananciais hídricos (Barlow *et al.*, 2016; Marengo; Souza Junior, 2018; Ferraz *et al.*, 2014). Estas florestas sequestram e armazenam cerca 460 bilhões de toneladas de carbono (Calmon, 2021; Pan *et al.*, 2011), o que representa quase a metade do estoque atmosférico total. Além disso, milhares de culturas indígenas e comunidades tradicionais não só continuam a se desenvolver em estreita associação com estes recursos florestais, mas também transformaram estes habitats florestais em territórios de residência permanente, ou seja, comunidades de base florestal, porém em muitos contextos já vulneráveis (Toledo *et al.*, 2017).

A floresta amazônica não é adaptada ao fogo e se não perturbada raramente queima (Uhl; Buschbacher; Serrão, 1998; Pivello *et al.*, 2021). No entanto, a Amazônia está sendo rapidamente impactada pelo desmatamento e pela degradação florestal (Lapola *et al.* 2023), e muitas das florestas restantes são altamente vulneráveis ao fogo, e as florestas que queimaram uma vez são mais suscetíveis de voltar a queimar (Zarin *et al.*, 2005). Essas perturbações repetidas ou prolongadas mudam a estrutura florestal e a dinâmica dos nutrientes, levando a uma mudança a longo prazo na composição da vegetação e perda de carbono (Barlow; Peres 2008; Davidson *et al.*, 2012).

Os incêndios que ocorreram nas últimas décadas na Amazônia afetaram a dinâmica e a estrutura da floresta em decorrência do aumento da mortalidade das árvores (Barlow; Peres, 2008). Após o incêndio, a recuperação da biomassa e da estrutura florestal pode ser prejudicada por causa do desenvolvimento abundante de cipós, e elevada incidência de danos no caule das árvores da floresta remanescente (Gerwing, 2002) e pela infestação de gramíneas em locais altamente perturbados (Silvério *et al.*, 2013). Os incêndios também afetam a composição das espécies florestais porque as taxas de mortalidade causada pelo fogo podem ser altas (Brando *et al.*, 2014).

As alterações na composição da floresta podem também afetar a sua capacidade de restauração e armazenamento carbono, e com pouco conhecimento científico sobre as mudanças que ocorrem na biodiversidade e no ciclo do carbono, apesar da intensificação da frequência de incêndios nas últimas décadas (Brando *et al.*, 2014; Barlow *et al.*, 2016). O estudo de Berenguer *et al.*, 2014 mostra que a degradação por fogo, junto com a exploração madeireira, reduz 40% da biomassa e altera a estrutura de tamanho (DAP) da floresta. Portanto, um dos principais desafios é compreender como as espécies amazônicas responderão a um cenário de perturbação mais frequente pelo fogo (Barlow *et al.*, 2016).

Os incêndios florestais tornaram-se uma questão crítica na região de Santarém, onde estão localizadas duas grandes Unidades de Conservação de Uso Sustentável: a Floresta Nacional do Tapajós (527.319 hectares) e a Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns (690.070 hectares), com suas florestas em elevado grau de conservação (Spinola *et al.*, 2020). Nesta região, a utilização de queimadas para a agricultura é prática comum (Carmenta *et al.*, 2013) e, nas últimas décadas, as políticas de desenvolvimento resultaram numa rápida expansão da agricultura de fronteira e um aumento dos incêndios florestais (Garret *et al.*, 2021). Estudos recentes têm observado que os picos de incêndio na região estão relacionados com a seca causada pelo fenômeno *El Niño* e, em especial, nos anos de 2015/2016, quando o fogo queimou cerca de 1.000.000 de hectares de florestas, nas proximidades de Santarém (Withey *et al.*, 2018).

Apesar da sua prevalência na paisagem da região de Santarém, existe pouco entendimento de como as florestas que queimaram repetidamente diferem das florestas não perturbadas. Este estudo visa compreender como as florestas amazônicas podem responder a incêndios florestais mais frequentes, como se espera no futuro. Com esse objetivo, realizou-se um estudo observacional para analisar os efeitos da frequência de incêndios em florestas de terra firme. Outros estudos em florestas da Amazônia descobriram que os incêndios florestais repetidos podem levar a uma diminuição geral dos estoques de carbono, a um aumento do domínio de

espécies oportunistas e a uma diminuição da riqueza de espécies (Cochrane; Schulze, 1999; Barlow; Peres, 2008). O estudo de Balch *et al.* (2008), realizado nas florestas de transição de Mato Grosso, indicou que fogos repetidos três anos consecutivos teriam menor intensidade de degradação. Mas esses fogos experimentais podem não representar o que acontece em florestas da Amazônia oriental, ou em cenários reais. As questões específicas que são abordadas no presente estudo são:

(i) Qual o efeito dos incêndios frequentes na estrutura da vegetação e como isso afeta os diferentes estratos da vegetação?

(ii) Qual o efeito do fogo na diversidade de espécies da floresta?

(ii) Qual o impacto dos incêndios na composição florística da vegetação e de que forma o aumento na frequência do fogo afeta a composição florística entre os estratos?

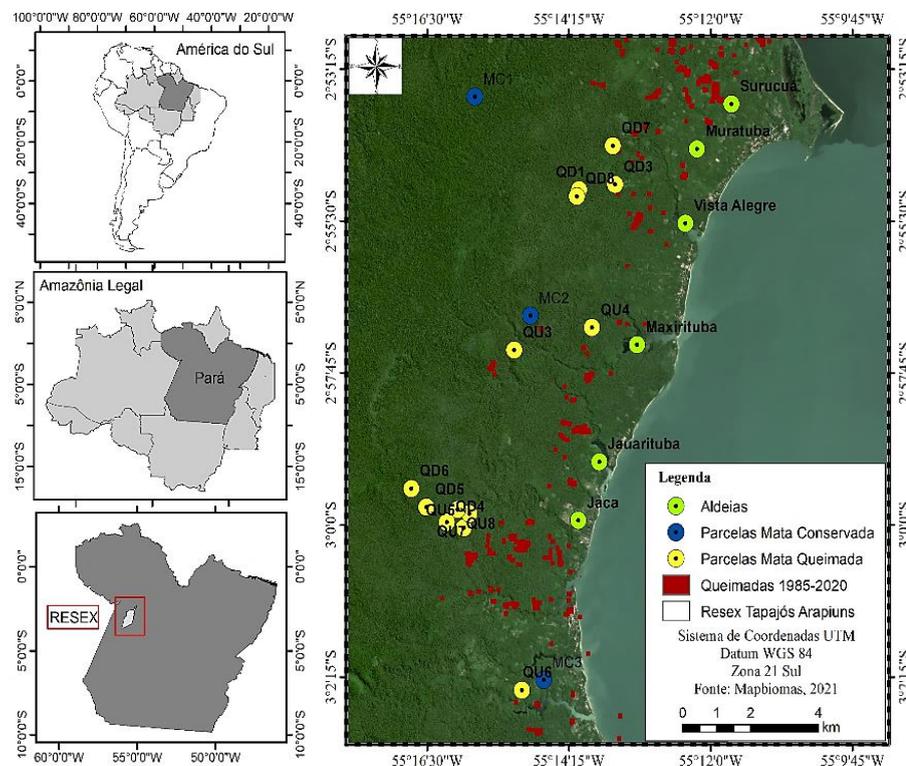
Em relação à capacidade da floresta amazônica se recuperar depois de incêndios frequentes, nossa hipótese é que cada evento de incêndio pode diminuir a capacidade de recuperação levando à homogeneização biótica. Especificamente, analisamos se o fogo repetido afeta o dossel, a estrutura do sub-bosque, a biomassa e a composição taxonômica.

3.2 Material e Métodos

3.2.1 Localização da área de estudo

O estudo foi conduzido em áreas de floresta de comunidades indígenas da Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns situada na região de Santarém, no oeste do Estado do Pará (Figura 7). Essa região está localizada na zona de expansão de fronteira, portanto, estratégica e determinante para o futuro da Amazônia.

Figura 7 - Localização da área de estudo na Amazônia, com destaque para os locais dos levantamentos florísticos (círculos amarelos e azuis) nas comunidades indígenas (círculos verdes indicam as zonas de habitação das famílias) na Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns, Santarém, Pará.



Fonte: Autor.

3.2.2 Caracterização da Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns (Resex)

A Resex é uma das maiores Unidades de Conservação de Uso Sustentável do Brasil, com área total de 690.070 hectares e uma das mais populosas, com cerca de 15 mil habitantes, distribuídos em 74 comunidades (Spinola *et al.*, 2020).

A tipologia vegetal predominante é de floresta ombrófila densa caracterizada por árvores de grande porte, presença de lianas lenhosas e epífitas em abundância. O clima que abrange a RESEX é o equatorial continental megatérmico úmido da Amazônia Central, que tem como característica a associação do calor elevado (temperaturas médias anuais entre 26 e 28°C) com umidade alta (valores médios anuais entre 80 e 85%). Os totais anuais médios da pluviosidade variam entre 2.000 e 2.800 mm com estação seca, bem definida, entre os meses de agosto e outubro. O relevo varia entre altitudes entre 2m e 216 m e o solo predominante é o Latossolo Amarelo com manchas de Argissolo Amarelo e presença de Neossolo Quartzarênico Hidromórfico na parte norte da reserva, todos caracterizados como solos de baixa fertilidade

natural e boas propriedades físicas (Icmbio, 2014a).

3.2.3 O problema do fogo

A região de Santarém tem estado sujeita aos mega incêndios ocorridos na Amazônia. O trabalho de Withey *et al.*, (2018) mostrou que durante o evento *El Niño* da estação seca de 2015-2016, de uma área total de 6,5 milhões de hectares analisada e que inclui a Resex, 15,2% das florestas primárias (perturbadas e não perturbadas) foram queimadas. Segundo Berenguer *et al.*, (2021), cerca de 2,5 bilhões de árvores morreram neste incêndio, resultando na emissão de aproximadamente 495 Tg de CO₂. Essas queimadas/incêndios decorrem, principalmente, da falta de controle do uso do fogo na agricultura de corte e queima que escapa da área planejada para ser cultivada e atinge as áreas de floresta causando a degradação das florestas. Conforme relatos dos moradores, de técnicos das organizações não governamentais e do ICMBio que atuam na Resex, fogos acidentais têm sido frequentes, destacadamente durante estações secas de 2015 e 2017, quando ocorreram os maiores incêndios florestais da história recente.

3.2.4 Amostragem e coleta de dados

O trabalho de campo foi realizado entre 2019 e 2021, e as parcelas florestais foram classificadas de acordo com a frequência de incêndios (Figura 8), denominadas: i) Florestas não queimadas (NQ), ii) Florestas queimadas uma vez (QU – queimadas de 2015) e iii) Florestas queimadas duas vezes (QD - queimadas de 2015 e 2017).

Figura 8 - Diferença visual entre área de floresta não queimada (à esquerda) e floresta queimada duas vezes, em 2015 e 2017 (à direita), em comunidades indígenas da Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns, Santarém, Pará.



Fonte: Autor

O processo de seleção das parcelas iniciou com uma avaliação visual da situação da cobertura florestal realizada pela equipe de pesquisa. Essa avaliação foi feita de forma compartilhada com lideranças e moradores das comunidades. Imagens de satélite Sentinel 2-A que serviram para mapear as áreas de florestas não queimadas e as “manchas” dos incêndios florestais ocorridos em 2015 e 2017. Em seguida, foi elaborado um mapa provisório identificando áreas de florestas não queimadas e prováveis áreas de florestas queimadas. De posse desse mapa provisório e usando GPSmap 62S-GARMIN, foram realizadas visitas de observação de campo nas áreas pré-identificadas, com a confirmação do histórico de uso das áreas e ocorrência dos fogos, sendo definida a localização das parcelas, a qual contou com a participação de moradores locais, conhecedores do histórico de uso das áreas das comunidades e da ocorrência dos incêndios.

Foram selecionadas três áreas de floresta não queimadas (localizadas nas comunidades de Muratuba, Mirixituba e Jaca) que serviram como parcelas controle, seis áreas queimadas apenas uma vez, sendo duas em Mirixituba, três em Jauarituba e uma na comunidade Jaca, e sete áreas queimadas duas vezes, sendo quatro em Muratuba e três em Jauarituba (Figura 7).

3.2.5 Levantamento florístico

Em cada área, foi demarcado um transecto (parcela) de 10 x 250m (2500 m²), subdivididos em 10 subparcelas de 10 x 25m (250 m²). As espécies foram identificadas no campo, por um especialista taxonômico e, quando necessária, feita confirmação no herbário do Museu Paraense Emilio Goeldi (MPEG), as quais foram agrupadas em famílias botânicas e classificadas de acordo com o sistema Angiosperm Phylogeny Group IV (2017). Para o estrato arbóreo 1, foram tomadas as medidas de altura total (Fuste + copa) e diâmetro à altura do peito (DAP) das árvores e palmeiras com DAP \geq 10 cm em todo o transecto (2500 m²). Para o estrato arbóreo 2, foram sorteadas três subparcelas de 250 m² em cada transecto, e nessas parcelas todas as plantas com DAP entre 2,0 e 9,9 cm foram amostradas. Destas três parcelas, foram sorteadas duas, para as quais se estabeleceram subsubparcelas de 5 x 10 m (50m²) e se avaliou a regeneração natural (estrato arbóreo 3) por meio da identificação e contagem de todos os indivíduos com altura acima de 1 m (Tabela 6).

Tabela 6 - Amostragem das parcelas por tipo de floresta (frequência de incêndios) e por estrato da vegetação, nos levantamentos florísticos realizados nas florestas da Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns, Santarém, Pará.

Tipo de Floresta	Nº de áreas amostradas (localidades)	Amostragem (m ²)		
		Estrato 1 (DAP ≥ 10,0 cm)	Estrato 2 (DAP entre 2,0 e 9,9 cm)	Estrato 3 (DAP < 2,0 cm e altura ≥ 1,0 m)
NQ	3	7500	2250	300
QU	6	15000	4500	600
QD	7	17500	5250	700

Fonte: Autor.

3.2.6 Medidas realizadas: número de indivíduos, diâmetro e altura

Para cada parcela, das três frequências de incêndios (NQ, QU e QD) foi contado o número de indivíduos, medido o DAP com fita diamétrica a 1,30 m do nível do solo e a altura total dos indivíduos foi estimada visualmente pelo especialista taxonômico. Além das médias de DAP e altura, são apresentados o DAP máximo da árvore representado pelo diâmetro do caule da maior árvore e a altura máxima representada pela altura da maior árvore. Foi estimado o tamanho máximo da árvore de forma mais conservadora como o percentil 95 do diâmetro do tronco e altura da árvore de todas as árvores por parcela, estrato e frequência de queima (King *et al.*, 2005). Já a altura média foi obtida pela soma das alturas e dividida pelo número de indivíduos em cada parcela por cada estrato e frequência de incêndios.

3.2.7 Estrutura: cálculo da densidade de indivíduos, área basal, biomassa na parte aérea da vegetação (AGB) e índice de heterogeneidade estrutural de Gini

Para cada parcela, estrato e frequência de incêndios foi calculada a área basal (m² ha⁻¹), e densidade de indivíduos (ind ha⁻¹) como medida de estrutura da vegetação. A biomassa aérea (AGB em Mg ha⁻¹) foi calculada seguindo Poorter *et al.* (2016), usando as equações alométricas implementadas no pacote BIOMASS (Réjou-Méchain *et al.*, 2017). Para cada árvore e palmeira, o AGB foi calculado usando uma equação alométrica baseada no diâmetro do caule e na densidade da madeira. A densidade da madeira foi obtida a partir de dados locais ou de dados

específicos da região (Zanne *et al.*, 2009). Para obter a AGB da parcela, a biomassa foi somada em todas as árvores em cada parcela por estrato e tipo de floresta e expressa por hectare. Foi utilizado um fator de correção de 1,03 para obter a AGB estimada da parcela no estrato 2 (Poorter *et al.*, 2016).

O índice de heterogeneidade estrutural de Gini refere-se à variação no tamanho das árvores em uma parcela e reflete a variação de idade das árvores, estratificação, complexidade estrutural e, portanto, uma síntese do efeito do fogo na recuperação da estrutura de um fragmento de floresta. Foi quantificado o coeficiente Gini do diâmetro do caule usando a função Gini do pacote DescTools R versão 0.99. O coeficiente de Gini mede a desigualdade entre os valores de uma distribuição de frequência e varia de zero, quando todos os diâmetros dos caules são iguais, até 1 quando os caules variam ao máximo em seu tamanho. O coeficiente de Gini foi calculado como a soma de todas as diferenças absolutas no diâmetro do caule de todas as combinações de N árvores na parcela, dividida por $2 * N^2 * \text{diâmetro médio do caule de todas as árvores}$.

3.2.8 Diversidade

A diversidade foi descrita usando riqueza, representada pelo número de famílias, gêneros e de espécies de cada frequência de incêndio. A diversidade alfa foi avaliada pelos números de Hill. Os índices de diversidade de Hill (Hill 0 = Riqueza; Hill 1 = Hill-Shannon; Hill 2 = Hill-Simpson) consideram tanto o número como a abundância relativa das espécies, com sensibilidade decrescente às espécies raras e ao tamanho da amostra (Roswell *et al.*, 2021) e foram calculados usando a função de estimativa imparcial bcDiversity no pacote entropart v.1.6-6.

3.2.9 Análise dos dados

Para detectar as alterações na estrutura da vegetação e na riqueza e diversidade de espécies com o aumento da frequência de incêndio, foram utilizados modelos mistos lineares generalizados (GLMM). Foram utilizadas as variáveis de frequência de incêndio como variável preditora, comparando-se as parcelas QU, QD, com o controle da floresta não queimada (NQ), utilizando-se área basal, biomassa, diâmetro máximo, densidade de indivíduos, altura média, altura máxima e índice de Gini, como variáveis respostas da estrutura da vegetação. Ainda,

foram utilizados números de Hill como variáveis respostas da riqueza e diversidade da vegetação. A localidade do sítio (comunidades) foi utilizada como fator aleatório para controlar variações e autocorrelações da localidade. Para estimar o tamanho do efeito do fogo nessas variáveis, utilizou-se o cálculo “d” de Cohen que calcula o tamanho do efeito a partir da diferença entre as médias dos grupos, dividido entre a média de seus desvios padrão. Por fim, para detectar se o efeito do fogo afeta os diferentes estratos, adicionamos a interação dos estratos com a frequência de queima como preditoras.

Para detectar efeitos do fogo na composição florística dos diferentes estratos, foi criada uma matriz de distância binária, com presença e ausência das espécies por parcela, tratamento e estrato. Após isso, foi utilizado índice de similaridade de Jaccard e obtida a matriz de similaridade entre estratos e tratamentos. A similaridade dos estratos inferiores (estrato 2 e 3) foi comparada com o estrato superior (estrato 1) entre o controle e a frequência de incêndios. As análises foram realizadas com modelos lineares para detectar efeito do fogo na diminuição da similaridade entre estratos. A similaridade entre os estratos foi utilizada como variável resposta e a frequência de incêndios como variável preditora.

Ainda, para avaliar o efeito do fogo na diversidade Beta e conseqüentemente a homogeneização da riqueza nas parcelas, utilizou-se a matriz de similaridade de Jaccard para realizar ordenação de coordenadas principais (PCoA). Calculou-se a distância das parcelas até o centróide de cada estrato por cada tratamento e foi comparada essa distância nos diferentes tratamentos de frequência de incêndio. Para a comparação, foram utilizados modelos lineares com a distância do centróide como variável resposta e o estrato dentro de cada tratamento como variável preditora. Todas as análises foram realizadas no programa R (R Core Team, 4.2.2).

3.3 Resultados

3.3.1 Registros estruturais e florísticos

Nos 17 sítios florestais e considerando os três estratos de vegetação analisados, foram registrados 3620 indivíduos (731 nas florestas não queimadas e 1453 nas florestas queimadas uma vez e 1436 nas florestas queimadas duas vezes), pertencentes a 311 espécies e 64 famílias. A distribuição dos indivíduos, por estrato da vegetação em cada tipo de floresta é apresentada na Tabela 7.

Tabela 7 - Distribuição dos indivíduos por estrato de vegetação em cada tipo de floresta, nos levantamentos florísticos realizados nas florestas da Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns, Santarém, Pará.

Tipo de Floresta	Estrato 1 (nº indivíduos)	Estrato 2 (nº indivíduos)	Estrato 3 (nº indivíduos)
NQ	311	344	76
QU	484	836	133
QD	333	931	172

Fonte: Autor

A Tabela 8 apresenta dados de florística e estrutura das parcelas de floresta não queimada, queimada uma vez e duas vezes nos três estratos de vegetação analisados.

Tabela 8 - Dados de florística e estrutura nos estratos da vegetação de cada tipo de floresta analisados, na Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns, Santarém, Pará. Média (Desvio Padrão). SD = sem dados. t MS = tonelada de matéria seca.

Tipo de Floresta	Estrato	Nº Famílias	Nº Gêneros	Nº Espécies	DAP Médio (cm)	Biomassa Aérea (AGB) (t MS ha ⁻¹)	Área Basal (m ²)	DAP Máximo (cm)	Índice Gini	Densidade Individuos (Ind ha ⁻¹)	Altura Total (m)
NQ	1	37	90	125	21,1 (15,0)	288,1 (316,8)	21,8 (17,9)	49,0 (27,5)	0,29 (0,09)	415 (154)	17,4 (2,8)
	2	40	79	111	4,4 (1,9)	4,8 (5,0)	2,7 (1,3)	8,6 (0,7)	0,23 (0,03)	1529 (723)	5,6 (0,8)
	3	29	41	112	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
QU	1	38	105	144	20,8 (12,4)	159,7 (148,7)	14,9 (9,7)	40,5 (18,3)	0,27 (0,10)	323 (143)	16,4 (3,2)
	2	38	70	94	4,2 (1,7)	4,2 (3,6)	2,8 (0,9)	9,0 (0,5)	0,23 (0,05)	1858 (699)	5,3 (0,5)
	3	32	65	94	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
QD	1	37	72	98	19,5 (11,4)	80,0 (90,1)	8,0 (6,1)	32,7 (15,2)	0,24 (0,12)	194 (105)	15,4 (3,9)
	2	33	69	104	4,1 (1,7)	4,0 (2,6)	2,8 (1,3)	8,4 (1,1)	0,22 (0,04)	1773 (751)	4,9 (0,8)
	3	40	67	116	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD

Fonte: Autor.

A Tabela 9 apresenta um ranking das 10 famílias com maior número de espécies nos estratos de cada tipo de floresta analisado. A família com maior número de espécies em todos os estratos e tipos de floresta foi a Fabaceae. A família Sapotaceae também se destaca pelo número de espécies, em especial no estrato 1. A distribuição das demais famílias, tende a se diferenciar com o aumento da frequência de incêndios, principalmente entre os estratos 1 e 3, com menores números de espécies por família e famílias específicas que ocorrem exclusivamente no estrato 3, na floresta queimada duas vezes.

Tabela 9 - Famílias com maior número de espécies nos estratos da vegetação de cada tipo de floresta analisados, na Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns, Santarém, Pará.

TIPO DE FLORESTA	ESTRATO 1		ESTRATO 2		ESTRATO 3	
	Família	N Esp	Família	N Esp	Família	N Esp
NQ	Fabaceae	28	Fabaceae	15	Fabaceae	6
	Sapotaceae	12	Burseraceae	8	Rubiaceae	5
	Moraceae	7	Moraceae	6	Sapindaceae	4
QU	Fabaceae	32	Fabaceae	18	Fabaceae	15
	Sapotaceae	9	Burseraceae	6	Melastomataceae	5
	Moraceae				Sapotaceae	
	Annonaceae					
	Apocynaceae	6	Melastomataceae	5	Moraceae	4
			Rubiaceae		Burseraceae	
					Bignoniaceae	
					Annonaceae	
					Sapindaceae	
QD	Fabaceae	16	Fabaceae	24	Fabaceae	9
	Sapotaceae	13	Melastomataceae	6	Arecaceae	6
			Sapotaceae			
		Euphorbiaceae				
	Lauraceae	7	Burseraceae	5	Rubiaceae	5
			Boraginaceae		Bignoniaceae	

Fonte: Autor.

No ranking das dez espécies com maior número de indivíduos (Tabela 10), destaca-se a *Cecropia distachya* Huber pela quantidade de indivíduos presentes nos estratos 1 e 2, das florestas não queimadas e queimadas uma vez e sua ausência no estrato 3 dos três tipos de floresta. A maior ocorrência de espécies tolerantes à sombra (50%) se verifica no estrato 1, tanto

das florestas não queimadas quanto nas queimadas uma vez, entretanto, as espécies pioneiras dominam a floresta queimada duas vezes. Desperta atenção a grande quantidade de indivíduos da espécie *Palicourea guianensis* Aubl. nas florestas queimadas uma e duas vezes, em especial nos estratos 2 e 3, e ainda, a composição de espécies pioneiras agressivas (*Palicourea guianensis* Aubl. e *Solanum schlechtendalianum* Walp.) e a invasora *Scleria pterota* C. Presl (Tiririca) com concentração de indivíduos no estrato 3, da floresta queimada duas vezes.

Tabela 10 - Lista das 10 espécies mais abundantes e seus grupos sucessionais (GS) nos estratos da vegetação de cada tipo de floresta analisados, na Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns, Santarém, Pará. P = Pioneira, TS = Tolerante a sombra.

(continua)

TIPO	ESTRATO 1			ESTRATO 2			ESTRATO 3		
	Espécies	N Ind	GS	Espécies	N Ind	GS	Espécies	N Ind	GS
NQ	<i>Amphiodon effusus</i> Huber	12	TS	<i>Rinorea passoura</i> Kunth	47	P	<i>Cordia exaltata</i> Lam.	4	P
	<i>Virola michelii</i> Heckel	10	P	<i>Cecropia distachya</i> Huber	20	P	<i>Amphiodon effusus</i> Huber	3	TS
	<i>Tachigali glauca</i> Tul	9	TS	<i>Amphiodon effusus</i> Huber	17	TS	<i>Talisia mollis</i> Kunth ex Cambess.	3	P
	<i>Attalea maripa</i> (Aubl.) Mart.	9	P	<i>Solanum campaniforme</i> Roem. & Schult	15	P	<i>Virola michelii</i> Heckel	3	P
	<i>Chamaecrista xinguensis</i> (Ducke) H.S.Irwin & Barneby	8	TS	<i>Palicourea guianensis</i> Aubl.	13	P	<i>Inga alba</i> (Sw) Willd	3	TS
	<i>Dialium guianense</i> (Aubl.) Sandwith	8	P	<i>Talisia mollis</i> Kunth ex Cambess	13	P	<i>Tachigali glauca</i> Tul.	2	TS
	<i>Ocotea caudata</i> (Nees) Mez	8	P	<i>Protium Robustum</i> (Swart) D.M.Prter	12	TS	<i>Potalia amara</i> Aubl.	2	TS
	<i>Pseudolmedia murure</i> Standl.	7	TS	<i>Gustavia hexapétala</i> (Aubl.) Sm.	8	TS	<i>Talisia longifolia</i> (Benth.) Radlk	2	TS
	<i>Pouteria gongrijpii</i> Eyma	7	P	<i>Astrocaryum gynacanthum</i> Mart.	8	P	<i>Siparuna guianensis</i> Aubl.	2	TS
	<i>Theobroma speciosa</i> Willd	6	TS	<i>Cordia exaltata</i> Lam.	7	P	<i>Rinorea passoura</i> Kunth	2	P
	<i>Cecropia distachya</i> Huber	25	P	<i>Palicourea guianensis</i> Aubl.	345	P	<i>Palicourea guianensis</i> Aubl.	6	P
	<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D.Don	17	P	<i>Aparisthmium cordatum</i> (A.Juss.) Baill.	97	P	<i>Talisia longifolia</i> (Benth.) Radlk.	4	P
	<i>Casearia arborea</i> (Rich.) Urb.	14	TS	<i>Cecropia distachya</i> Huber	94	P	<i>Bactris concinna</i> Mart.	3	TS
<i>Pouteria gongrijpii</i> Eyma	14	P	<i>Solanum schlechtendalianum</i> Walp.	33	P	<i>Vitex triflora</i> Vahl.	3	P	
QU	<i>Cochlospermum orinocense</i> (Kunth) Steud	14	TS	<i>Trattinnickia rhoifolia</i> Willd.	13	TS	<i>Virola michelii</i> Heckel	3	P

(conclusão)

TIPO	ESTRATO 1			ESTRATO 2			ESTRATO 3		
	Espécies	N Ind	GS	Espécies	N Ind	GS	Espécies	N Ind	GS
	<i>Vatairea erythrocarpa</i> (Ducke) Ducke	14	P	<i>Cordia exaltata</i> Lam	11	P	<i>Faramea capillipes</i> Mull. Arg.	3	TS
	<i>Protium altissimum</i> (Aubl.) Marchand	14	TS	<i>Cochlospermum orinocense</i> (Kunth) Steud.	11	TS	<i>Talisia mollis</i> Kunth ex Cambess.	3	TS
	<i>Oenocarpus bacaba</i> Mart.	14	P	<i>Vismia cayennensis</i> (Jacq.) Pers.	10	P	<i>Talisia veraluciana</i> Guarim	3	TS
	<i>Theobroma speciosa</i> Willd	12	TS	<i>Syagrus cocoides</i> Mart.	9	TS	<i>Dolioscarpus dentatus</i> (Aubl.) Standl.	3	P
	<i>Annona exsucca</i> DC.	10	TS	<i>Virola michelii</i> Heckel	7	P	<i>Casearia arborea</i> (Rich.) Urb.	3	TS
	<i>Cecropia distachya</i> Huber	89	P	<i>Palicourea guianensis</i> Aubl.	278	P	<i>Palicourea guianensis</i> Aubl.	9	P
	<i>Ocotea caudata</i> (Nees) Mez	12	P	<i>Cecropia distachya</i> Huber	95	P	<i>Solanum schlechtendalianum</i> Walp.	8	P
	<i>Vatairea erythrocarpa</i> (Ducke) Ducke	11	P	<i>Solanum schlechtendalianum</i> Walp.	92	P	<i>Talisia longifolia</i> (Benth.) Radlk.	8	P
	<i>Dialium guianense</i> (Aubl.) Sandwith	11	P	<i>Amphiodon effusus</i> Huber	35	TS	<i>Scleria pterota</i> C.Presl	6	P
	<i>Cecropia obtusa</i> Trécul	11	P	<i>Vismia cayennensis</i> (Jacq.) Pers.	31	P	<i>Casearia arborea</i> (Rich.) Urb.	6	TS
	<i>Zygia racemosa</i> (Ducke) Barneby & J.W.Grim	7	P	<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D.Don	21	P	<i>Annona exsucca</i> DC.	5	TS
	<i>Pouteria congriipii</i> Eyma	6	P	<i>Casearia arborea</i> (Rich.) Urb.	19	TS	<i>Adenocalymma magnificum</i> Mart. ex DC.	5	P
QD	<i>Glycydendron amazonicum</i> Ducke	6	TS	<i>Miconia pyrifolia</i> Naudin.	16	TS	<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D.Don	4	P
	<i>Cochlospermum orinocense</i> (Kunth) Steud	6	TS	<i>Theobroma speciosa</i> Willd. ex Spreng.	14	TS	<i>Palicourea triphylla</i> DC.	4	P
	<i>Virola michelii</i> Heckel	5	P	<i>Cochlospermum orinocense</i> (Kunth) Steud	14	TS	<i>Pleonotoma jasminifolia</i> (Kunth) Miers	4	TS

3.3.2 Efeito da frequência dos incêndios sobre a estrutura e diversidade da floresta

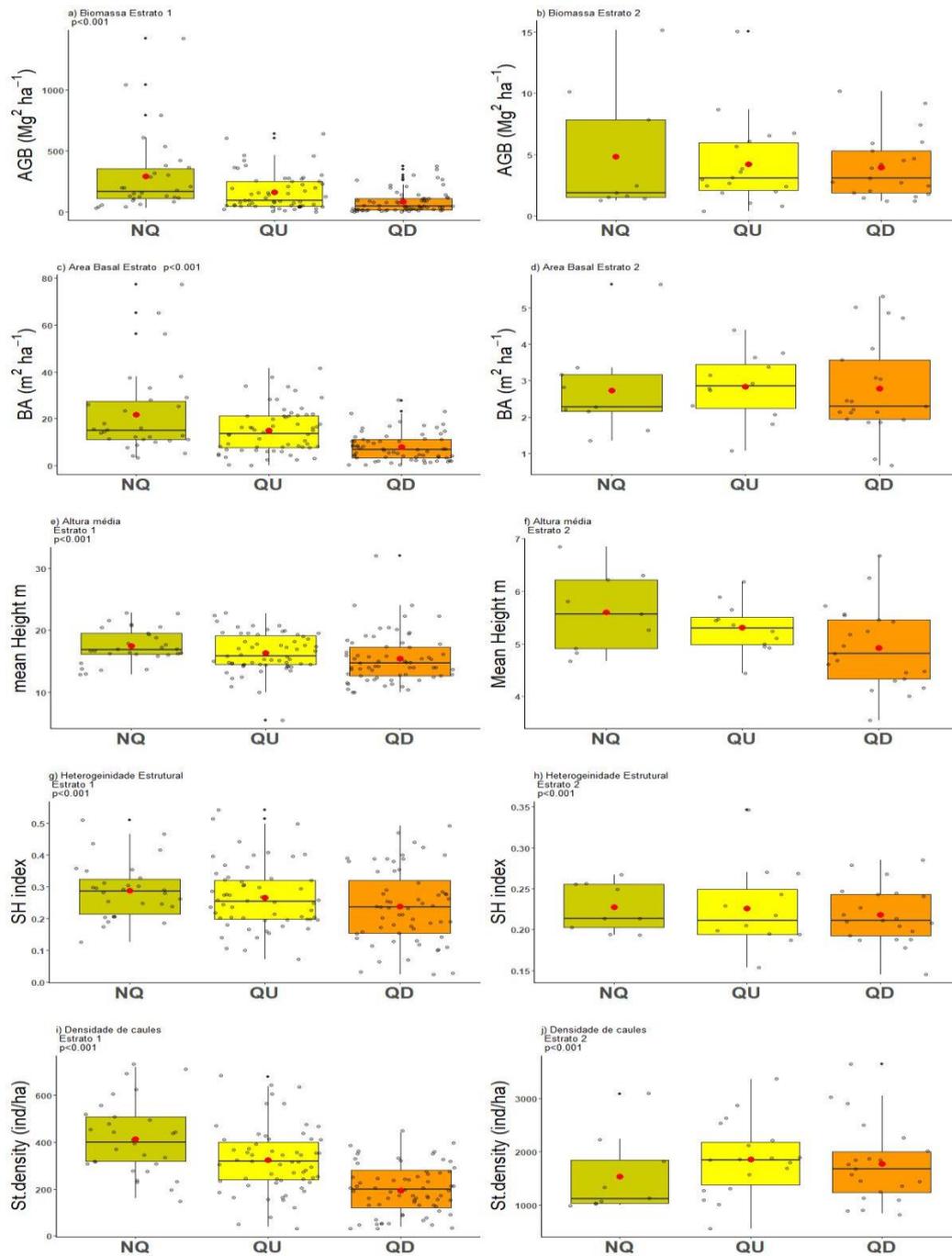
O efeito dos incêndios afetou a estrutura da floresta para árvores e palmeiras do estrato 1 (DAP acima de 10 cm) e estrato 2 (DAP entre 2 e 9,9 cm), mas ambos responderam de forma distintas ao aumento da frequência de incêndios (Figura 9). A biomassa diminuiu 44% em média, na primeira queima (QU) e drasticamente, em mais que duas vezes, após duas queimadas ($p < 0.001$, $R^2 = 0.26$). O estrato 1 foi o mais afetado após a segunda queima, diminuindo em 43% em comparação com a floresta conservada (Figura 9a, $p < 0.001$). Esse mesmo padrão se repete para área basal, que diminuiu em média 27,5% da área basal na primeira queimada e 53,8% na segunda ($P < 0.001$, $R^2 = 0.34$), sendo o estrato 1 o mais afetado após a segunda queima, diminuindo em média 63 % da área basal após duas queimas (Figura 9c $p < 0.001$). O diâmetro máximo é afetado depois de duas queimas diminuindo em média 24%, e mantêm valores similares entre floresta não queimada e queimada uma vez. Em relação à altura média, o efeito dos incêndios aparece apenas após duas queimas repetidas (Q2) diminuindo em 12% a altura do dossel ($p < 0.001$, $R^2 = 0.83$) e esse mesmo padrão ocorre para os estratos 1 e estrato 2, separadamente, diminuindo em aproximadamente 11% após duas queimas ($p < 0.001$, Figura 9e e 9f). O apêndice C apresenta os resultados da análise estatística dos modelos mistos lineares generalizados para biomassa (AGB), área basal (BA), índice de gini (Gini), diâmetro máximo (DBH) e densidade de indivíduos.

Quanto ao índice de heterogeneidade estrutural da vegetação (índice de Gini), os incêndios repetidos diminuem em média 12% apenas após duas queimas ($R^2 = 0.03$, $p = 0.023$), enquanto para a densidade de indivíduos ocorre aumento de 12% nos valores médios desde a primeira queima, aumentando esse efeito após a segunda queima ($R^2 = 0.70$, $p < 0.001$). Os estratos possuem respostas de forma diferente, os incêndios repetidos (QD) diminuem em 53% a densidade absoluta de indivíduos após duas queimas no estrato 1 (Figura 9i, $p < 0.001$) e aumento em 21% na densidade de indivíduos, no estrato 2 (Figura 9j, $p < 0.001$).

Para avaliar a riqueza de espécies, foram utilizados três índices, e os resultados mostram que as respostas são similares, mas a intensidade da mudança varia. A riqueza em espécie expressada em números absolutos de espécies (riqueza - índice de Hill 0) foi afetada pela primeira queimada, diminuindo em média 25% das espécies amostradas e diminuindo para 37% após duas queimadas ($R^2 = 0.54$, $p < 0.001$). O Estrato 1 diminuiu 31% após uma queima (Figura 10a, $p < 0.001$) e o estrato 2 diminuiu, em média, 23% e após a segunda queima se mantém com número similar de espécies encontradas na primeira queima (Figura 10b, $p < 0.001$), enquanto o estrato 1 continuou perdendo espécies e diminuiu em média 66% do número de espécies em

relação à floresta não queimada (Figura 10a, $p < 0.001$).

Figura 9 - Boxplots de cinco variáveis estruturais para os três tipos de florestas (Não queimada - NQ, Queimada uma vez - QU e Queimada duas vezes - QD, nos dois estratos de vegetação (1 e 2) em florestas avaliadas, na Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns.



Fonte: Autor.

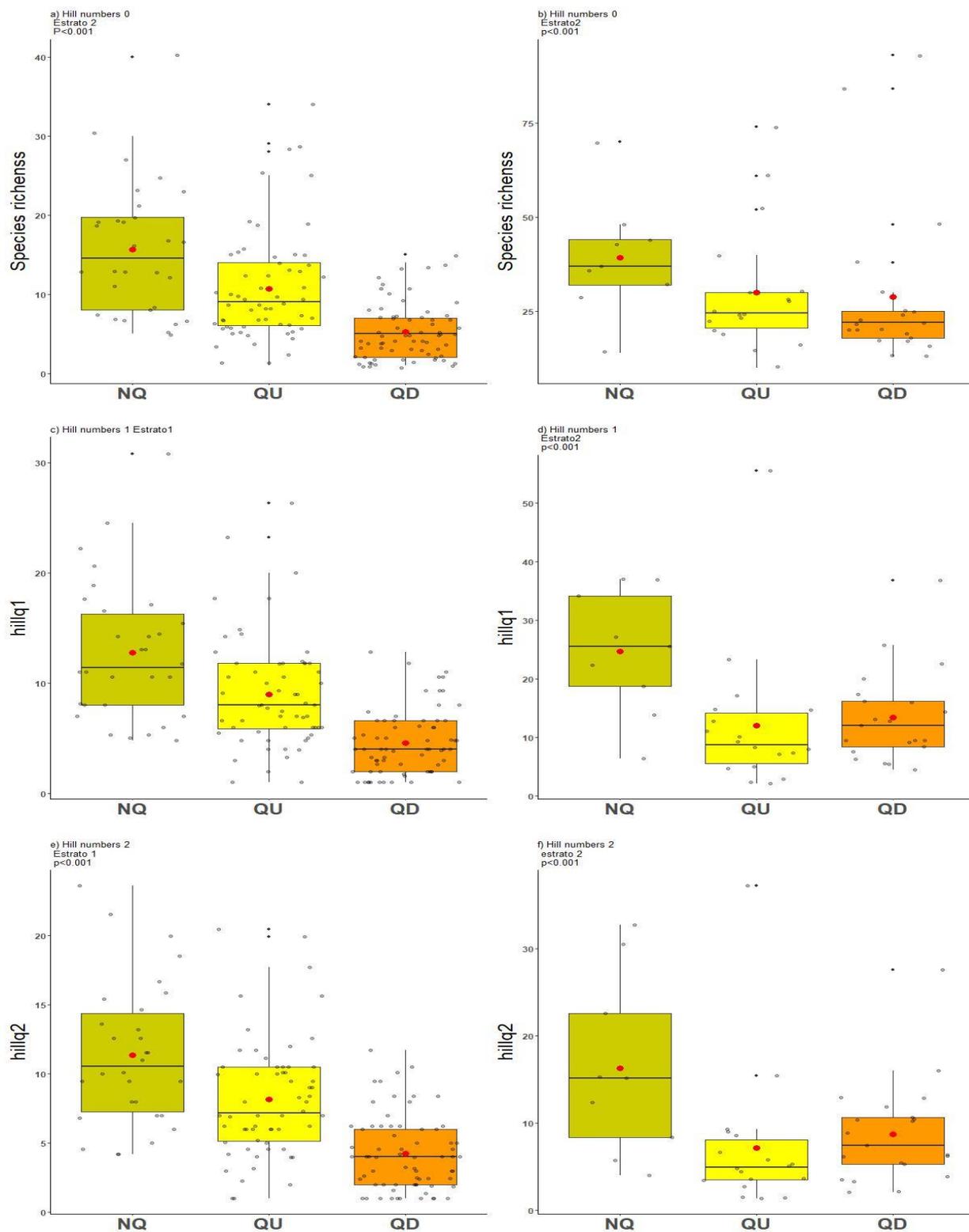
A diversidade de espécies representada pelo número efetivo de espécies raras (Hill 1) foi afetada pela primeira queima, diminuindo em média 43% das espécies raras amostradas e 51% após duas queimas ($R^2=0.28$, $p<0.001$). Os estratos 1 e 2 possuem respostas diferentes em relação ao impacto da frequência de incêndios em relação ao número total de espécies raras – no estrato 1 diminui 29% após uma queima (Figura 10c, $p<0.001$) e no estrato 2 o número de espécies raras diminui em média 51% após a segunda queima (Figura 10d, $p<0.001$) e se mantém com número similar de espécies encontradas na primeira queima, enquanto o estrato 1 continua perdendo espécies e diminui em média 49% do número de espécies em relação à floresta não queimada (Figura 10c, $p<0.001$).

A diversidade de espécies representada pelo número efetivo de espécies abundantes na comunidade florestal (Hill 2) foi afetada pelos incêndios e segue o mesmo padrão encontrado no índice de diversidade Hill 1 ($R^2=0.36$, $p<0.001$). A primeira queimada diminui em média 44% das espécies abundantes amostradas e 53% após duas queimas. Os estratos 1 e 2 possuem respostas diferentes em relação ao impacto da frequência de incêndios no número total de espécies ($R^2=0.36$, $p=0.03$). O estrato 1 diminui 28% após uma queimada (Figura 10e, $p<0.01$) e o estrato 2 diminuiu em média 55% o número de espécies após a segunda queimada e se mantém com número similar de espécies encontradas na primeira queimada (Figura 10f), enquanto o estrato 1 continua perdendo espécies e diminui em média 48% do número de espécies em relação à floresta não queimada (Figura 10e, $p<0.01$). O apêndice D apresenta os resultados da análise estatística dos modelos mistos lineares generalizados para riqueza em espécies (Hill0), diversidade (Hill1 e Hill2).

3.3.3 Efeito do fogo sobre a composição da vegetação

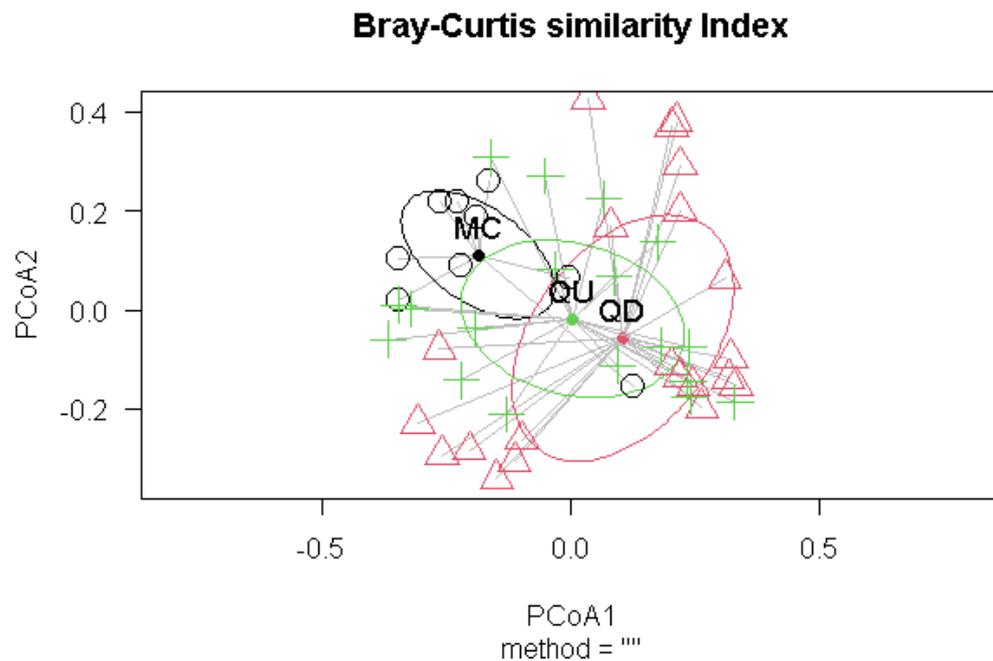
Na Figura 11, pode-se perceber que o aumento da frequência de incêndios afetou a similaridade florística das comunidades florestais, pois, após duas queimadas houve aumento na dispersão dos pontos em relação ao centroide, indicando aumento na dissimilaridade ou diversidade Beta, de em média, 58% a 61% após duas queimadas ($R^2=0.47$, $p<0.001$). O apêndice E apresenta os resultados dos modelos mistos lineares generalizados para similaridade de bray-curtis, em cada estrato e tratamento.

Figura 10 - Boxplots das variáveis de riqueza de espécies e diversidade para os três tipos de florestas (Não queimada – NQ; Queimada uma vez - QU e Queimada duas vezes QD, em dois estratos (1 e 2) em florestas avaliadas, na Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns



Fonte: Autor.

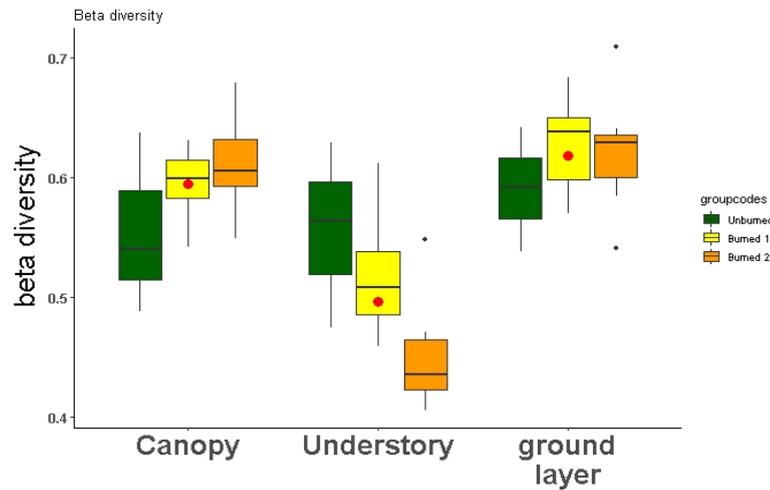
Figura 11 - Similaridade Florística (Bray-Curtis) entre florestas avaliadas, na Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns, Santarém, Pará. MC - não queimada; QU - queimada uma vez e QD - queimada duas vezes.



Fonte: Autor.

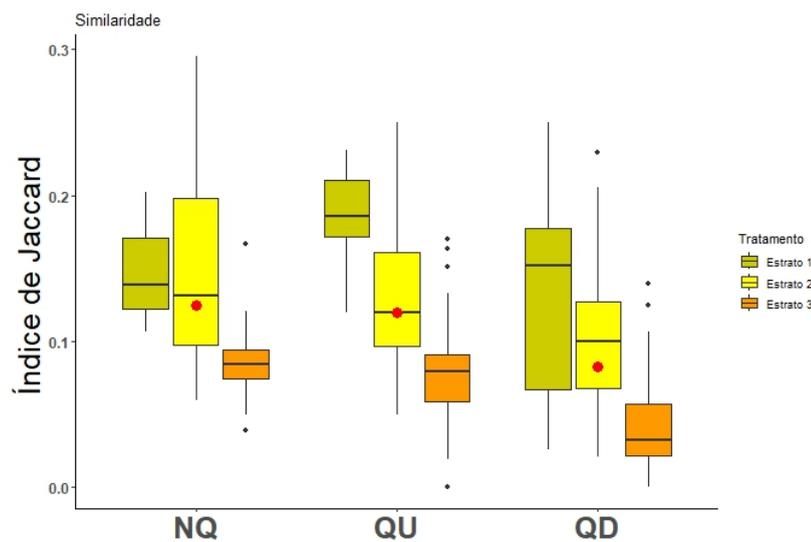
Esse efeito na média pode parecer pequeno, contudo, quando comparado o efeito do fogo por estratos (Figura 12), percebe-se a diminuição da diversidade beta, principalmente no estrato 2, enquanto o estrato 3 aumenta a diversidade beta após a primeira queima ($R^2=0.47$, $p<0.001$). Na comparação da similaridade entre os estratos inferiores (2 e 3) com o dossel (estrato 1), pode-se observar, por meio do índice de Similaridade de Jaccard (Figura 13), que esse aumento na diversidade Beta do estrato 3 é devido à presença de novas espécies, indicado pela diminuição da similaridade com os estratos superiores.

Figura 12 - Boxplots da diversidade Beta considerando os três estratos (1- Canopy, 2- Understory e 3 -ground layer) em diferentes tipos de florestas (não queimadas, queimadas uma vez e queimadas duas vezes) avaliadas na Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns.



Fonte: Autor

Figura 13 - Índice de Similaridade de Jaccard entre as florestas não queimadas (NQ), queimada uma vez (QU) e queimada duas vezes (QD), considerando os três estratos avaliados na Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns, Santarém, Pará.



Fonte: Autor.

3.4. Discussão

Este estudo sobre o impacto de incêndios florestais na estrutura e a diversidade da vegetação da Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns traz informações importantes sobre: (i) a importância da frequência dos incêndios, (ii) impacto sobre o porte dos indivíduos, (iii) diversidade de espécies e iv) dominância de espécies agressivas, invasoras e inflamáveis. Além disso, os incêndios florestais acarretam outros efeitos, além da comunidade das plantas.

i) Importância da frequência dos incêndios

Os resultados mostram que o impacto do fogo foi maior na floresta queimada duas vezes. Houve redução na densidade de indivíduos, área basal e biomassa aérea da vegetação. Esses resultados são coerentes com alguns estudos clássicos realizados na Amazônia, mostrando que os incêndios florestais impactam a estrutura e composição da floresta e a torna mais vulnerável à ocorrência de novas queimadas (Cochrane *et al.*, 2004; Rodríguez *et al.*, 2006; Nepstad *et al.*, 1999). Entretanto, os resultados não confirmam a teoria de “Feedback Negativo do Fogo” de Balch *et al.* (2008), realizado em uma floresta de transição do estado do Mato Grosso, que comparou parcelas de floresta não queimada com florestas queimadas, experimentalmente, uma e três vezes e mostrou que, no curto prazo, um regime de queima anual levou a um declínio na inflamabilidade da floresta durante a terceira queima e ainda, que este comportamento está relacionado com a redução do material combustível de superfície.

A diferença dos resultados aqui apresentados e os resultados de Balch *et al.* (2008) pode ser atribuída a várias razões. Primeiro, os períodos de medições após a ocorrência dos fogos são diferentes. Balch e colaboradores, em sua análise de queimada uma vez, realizaram medições de suas parcelas uma semana antes e após o fogo e nas parcelas queimadas três vezes dois anos antes e após o primeiro fogo, enquanto em nosso estudo as medições foram realizadas quatro anos após o fogo, portanto, com a quantidade de material inflamável na superfície, potencialmente maior, embora não quantificada de forma detalhada. Vale ressaltar que, na continuação do estudo de Balch, quando as parcelas florestais foram queimadas duas vezes ou cinco vezes, os resultados já mostraram a densidade de indivíduos que haviam se recuperado dentro de um ano, após seis anos se constataram o aumento da mortalidade e a diminuição da regeneração (Balch *et al.*, 2013). Além disso, o estudo de Balch foi com fogos experimentais em anos normais, enquanto os incêndios na Resex foram extensivos e em períodos com secas mais severas.

ii) Impacto sobre o porte dos indivíduos

Em nosso estudo, a mortalidade dos indivíduos de árvores e palmeiras do estrato 1, ou seja, dos indivíduos maiores com DAP acima de 10 cm foi o principal impacto do fogo na estrutura da floresta. Em seu estudo de longo prazo sobre incêndios de superfície nas florestas amazônicas, Barlow *et al.* (2003) relata que a mortalidade de árvores de grande porte aumentou acentuadamente entre 1 e 3 anos, mais do que dobrando as estimativas atuais de perda de biomassa e emissões de carbono. O estudo realizado por Berenguer *et al.* (2021), na Floresta Nacional do Tapajós, na região de Santarém, Pará mostra que 2,5 bilhões de árvores morreram em um incêndio florestal, durante o evento de *El Niño* de 2015-16. O estudo mostrou ainda que foram mais afetadas as árvores com menor densidade de madeira, espessura da casca e teor de nitrogênio foliar, bem como aquelas que experimentaram maior intensidade de fogo e a mortalidade continua por, pelo menos, três anos.

Estudos em parcelas permanentes queimadas distribuídas ao longo da Amazônia brasileira mostram que a regeneração não é suficiente para recuperar as perdas de carbono em 30 anos (Silva *et al.*, 2018). Na região do rio Arapiuns, próximo a Santarém, o impacto de um incêndio florestal durante o evento *El Niño* de 1997/1998 mostra que 52,5% das plantas morreram durante ou logo após o incêndio, matando a grande maioria de arbustos, mudas e pequenas árvores, mas poupando a maioria das árvores grandes (Peres, 1999). Na Floresta Nacional do Tapajós, no curto prazo, o fogo afetou principalmente a dinâmica das árvores menores (DAP < 20 cm), mas no médio prazo (15 anos após o incêndio), não foram observados efeitos do fogo sobre a redução da área basal e a floresta manteve a recuperação contínua de sua perda (Andrade *et al.*, 2020).

iii) Diversidade de espécies

O aumento da frequência de incêndios levou a um declínio na diversidade e a um aumento da dominância de certas espécies tolerantes ao fogo e que apresentam rápido crescimento suficiente para se restabelecerem no período de quatro anos após o incêndio florestal. A espécie *Pouteria congriipii* Eyma é uma, entre as espécies pioneiras de árvores maiores (Estrato 1) e mais abundantes, encontrada nas parcelas não queimadas e se mantém nas áreas queimadas. No sub-bosque (Estrato 2) as duas espécies de árvores pioneiras *Cecropia distachya* Huber e

Palicourea guianensis Aubl. são encontradas tanto na parcela não queimada, como nas parcelas queimadas uma e duas vezes. Interessante observar que espécies presentes na floresta sem queima, que são tolerantes à sombra, como *Chamaecrista xinguensis* (Ducke) H.S.Irwin & Barneby; *Tachigali glauca* Tul; *Pseudolmedia murure* Standl; *Protium Robustum* (Swart) D.M.Prter; *Gustavia hexapétala* (Aubl.) Sm; *Inga alba* (Sw) Willd; *Potalia amara* Aubl. e *Siparuna guianensis* Aubl. ou são espécies pioneiras, como *Rinorea passoura* Kunth; *Attalea maripa* (Aubl.) Mart.; *Solanum campaniforme* Roem. & Schult.; *Astrocaryum gynacanthum* Mart.; *Talisia mollis* Kunth ex Cambess e *Cordia exaltata* Lam., deixam de aparecer entre as espécies mais abundantes nas áreas queimadas.

É notável que os estratos 1 e 2 possuem respostas diferentes em relação ao impacto do número de incêndios no número total de espécies. Em geral, as espécies do estrato 2 do sub-bosque são mais impactados e perdem o dobro de espécies e isso pode estar relacionado com a falta de capacidade de rebrotar depois do incêndio ou ao crescimento mais lento de algumas espécies que não tiveram crescimento suficiente para serem detectadas nas parcelas analisadas.

Estudo realizado por Silva *et al.* (2018) mostrou que incêndios recorrentes em florestas amazônicas sazonalmente inundadas reduzem a diversidade de espécies (i.e., provocam homogeneização taxonômica). A riqueza de espécies diminuiu como resultado das extinções locais e a similaridade florística aumentou entre as comunidades florestais e o fogo estava selecionando espécies tolerantes “vencedoras” e eliminando as espécies mais sensíveis à presença do fogo “perdedoras”.

Os resultados mostraram redução na riqueza e diversidade de espécies e um aumento na similaridade florística como resultado do aumento da frequência de incêndios. Desta forma, os resultados coincidem com estudos científicos que avaliaram o papel do fogo como modificador das florestas tropicais, e há evidências de que o fogo reduz a riqueza de espécies e atua como um filtro de extinção local de espécies que não são tolerantes ao fogo (Cochrane; Schulze, 1999; Barlow; Peres, 2008; Devisscher *et al.*, 2016; Flores *et al.*, 2016), além de causar mudanças de longo prazo na estrutura florestal e na composição de espécies em florestas tropicais (Pinard *et al.*, 1999; Barlow *et al.*, 2003; Balch *et al.*, 2008; Flores *et al.*, 2016; Devisscher *et al.* 2016; Durigan; Ratter, 2015).

iv) Dominância de espécies agressivas, invasoras e inflamáveis

A análise da regeneração natural das florestas indica uma mudança na composição das espécies, em comparação da floresta não queimada com as florestas queimadas. Das 10 espécies mais abundantes observadas nas parcelas da floresta não queimada, apenas três (*Talisia mollis* Kunth ex Cambess.; *Talisia longifolia* (Benth.) Radlk e *Virola michelii* Heckel) ocorrem nas parcelas queimadas uma vez e nenhuma na queimada duas vezes. Mais importante ainda é a dominância de espécies pioneiras agressivas (*Palicourea guianensis* Aubl. e *Solanum schlechtendalianum* Walp.) e da espécie invasora *Scleria pterota* C.Presl (Tiririca) na regeneração natural (estrato 3), das florestas queimadas duas vezes. Estas espécies são bastante agressivas e inibem a regeneração natural formando “manchas de vegetação” e cobrindo a copa das demais espécies, como é o caso da Tiririca que tem hábito trepador e é altamente inflamável. A Tiririca produz bastante biomassa vegetal, na estação chuvosa e seca, na estação de menor pluviosidade, depositando grande quantidade de material combustível sobre o solo e sobre a copa das árvores e palmeiras da regeneração natural. Essas características da regeneração natural, em especial das florestas queimadas duas vezes, sugerem que a recuperação das florestas podem ser comprometidas e levar décadas para ocorrer. Os estudos de Silva *et al.* (2018) que avaliaram parcelas permanentes na Amazônia brasileira mostram que 30 anos não é suficiente para recuperar as perdas florestais, após os incêndios. A recuperação da biomassa e da estrutura florestal é impedida por cipós abundantes na floresta amazônica (Gerwing, 2002) e incêndios intensos aumentam a probabilidade de invasão generalizada das gramíneas em floresta transição no sudoeste da Amazônia brasileira (Brando *et al.*, 2014; Silverio *et al.*, 2013). A dominância dessas espécies mostra como os incêndios florestais recorrentes podem levar a mudanças drásticas na estrutura e composição da floresta, com mudanças em cascata na composição da floresta após cada evento adicional de incêndio e leva à erosão da biodiversidade, que pode alterar profundamente processos ecossistêmicos, a saber, produtividade, decomposição e ciclagem de nutrientes, resultando em consequências importantes para a conservação (Barlow; Peres, 2008). Esses resultados demonstram uma necessidade urgente de intervenções políticas para reverter essa tendência (Barlow *et al.*, 2016).

Efeitos além da comunidade das plantas

As perdas com os incêndios florestais não são apenas ecológicas (Barlow *et al.*, 2016; Marengo; Souza Junior, 2018; Ferraz *et al.*, 2014, Calmon, 2021; Pan *et al.*, 2011) porque

também causam grandes prejuízos aos povos indígenas e às comunidades tradicionais de base florestal (Extrativistas) que vivem em estreita associação com estes recursos naturais, na Amazônia (Toledo *et al.*, 2017). Portanto, evitar a degradação florestal, causada pelos incêndios florestais e recuperar as áreas já degradadas devem ser temas centrais no debate da sociedade e foco das políticas públicas na região amazônica.

3.5 Conclusão

Os incêndios florestais afetaram a estrutura das florestas, pois na comparação entre os três tipos de florestas analisados, o impacto foi maior na floresta queimada duas vezes com redução na densidade de indivíduos, área basal e biomassa aérea da vegetação. Da mesma forma, houve redução na riqueza e diversidade de espécies e um aumento na similaridade florística como resultado do 1) aumento da frequência dos incêndios, 2) da dominância de certas espécies da floresta tolerantes ao fogo que apresentam rápido crescimento após os incêndios, e 3) da presença de espécies invasoras. A avaliação da regeneração natural, em especial das florestas queimadas duas vezes, sugere que a recuperação dessas florestas pode ser comprometida e levar décadas para ocorrer. Fica evidente que os incêndios florestais recorrentes podem levar a mudanças drásticas na estrutura e na composição da floresta amazônica evidenciando uma necessidade urgente de intervenções políticas para reverter essa situação.

Nesse sentido, outros dois capítulos desta tese são destinados a contribuir para esse debate. No primeiro capítulo, analisamos a percepção das comunidades indígenas da Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns sobre a degradação de suas florestas sociais afetadas pelo fogo acidental e, no quarto capítulo, apresentamos uma avaliação de como a abordagem biocultural pode contribuir para evitar a degradação e recuperar florestas sociais integrando resultados de pesquisa e o saber tradicional de comunidades indígenas. Por fim, propomos uma agenda de investigação centrada nos fatores causadores, impactos, gestão e mitigação dos incêndios, incluindo o estabelecimento de “iniciativas piloto” de restauração biocultural em territórios comunitários e um modelo de governança conectando as principais partes interessadas a fim de ampliar a restauração biocultural relacionada ao fogo na região amazônica com potencial para produzir conhecimento e lições oportunas e globalmente relevantes.

Referências

BALCH, J. K. *et al.* Effects of high-frequency understorey fires on woody plant regeneration in southeastern Amazonian forests. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 368, n. 1619, p. 20120157, 5 jun. 2013.

BALCH, J. K. *et al.* Negative fire feedback in a transitional forest of southeastern Amazonia. **Global Change Biology**, v. 14, n. 10, p. 2276–2287, 27 maio 2008.

BARLOW, J. *et al.* Anthropogenic disturbance in tropical forests can double biodiversity loss from deforestation. **Nature**, v. 535, n. 7610, p. 144–147, 29 jun. 2016.

BARLOW, J. *et al.* Large tree mortality and the decline of forest biomass following Amazonian wildfires. **Ecology Letters**, v. 6, n. 1, p. 6–8, 13 dez. 2002.

BARLOW, J.; PERES, C. A. Fire-mediated dieback and compositional cascade in an Amazonian forest. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 363, n. 1498, p. 1787–1794, 11 fev. 2008.

BERENGUER, E. *et al.* Tracking the impacts of El Niño drought and fire in human-modified Amazonian forests. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 118, n. 30, 27 jul. 2021.

BRANDO, P. M. *et al.* Abrupt increases in Amazonian tree mortality due to drought–fire interactions. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 17, p. 6347–6352, 29 abr. 2014.

CALMON, M. Restauração de florestas e paisagens em larga escala: o Brasil na liderança global. **Ciência e Cultura**, v. 73, n. 1, p. 44–48, jan. 2021.

CARMENTA, R. *et al.* Shifting Cultivation and Fire Policy: Insights from the Brazilian Amazon. **Human Ecology**, v. 41, n. 4, p. 603–614, 17 jul. 2013.

COCHRANE, M. A. *et al.* Selective Logging, Forest Fragmentation, and Fire Disturbance. **Columbia University Press eBooks**, p. 310–324, 31 dez. 2004.

COCHRANE, M. A.; SCHULZE, M. D. Fire as a Recurrent Event in Tropical Forests of the Eastern Amazon: Effects on Forest Structure, Biomass, and Species Composition. **Biotropica**, v. 31, n. 1, p. 2, mar. 1999.

DAVIDSON, E. A. *et al.* The Amazon basin in transition. **Nature**, v. 481, n. 7381, p. 321–328, jan. 2012.

DE ANDRADE, D. F. C. *et al.* Forest resilience to fire in eastern Amazon depends on the intensity of pre-fire disturbance. **Forest Ecology and Management**, v. 472, p. 118258, set. 2020.

DEVISSCHER, T. *et al.* Understanding ecological transitions under recurrent wildfire: A case study in the seasonally dry tropical forests of the Chiquitania, Bolivia. **Forest Ecology and Management**, v. 360, p. 273–286, jan. 2016.

DURIGAN, G.; RATTER, J. A. The need for a consistent fire policy for Cerrado conservation. **Journal of Applied Ecology**, v. 53, n. 1, p. 11–15, 13 nov. 2015.

FERRAZ, S. F. B. *et al.* How good are tropical forest patches for ecosystem services provisioning? **Landscape Ecology**, v. 29, n. 2, p. 187–200, fev. 2014.

FLORES, B. M. *et al.* Repeated fires trap Amazonian blackwater floodplains in an open vegetation state. **Journal of Applied Ecology**, v. 53, n. 5, p. 1597–1603, 1 out. 2016.

GARRETT, R. D. *et al.* Forests and Sustainable Development in the Brazilian Amazon: History, Trends, and Future Prospects. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 46, n. 1, 29 abr. 2021.

GERWING, J. J. Degradation of forests through logging and fire in the eastern Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 157, n. 1-3, p. 131–141, mar. 2002.

ICMBIO - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Plano de Manejo da Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns** – Volume 1: Diagnóstico. ICMBio. Brasília -DF, 02 de setembro de 2014. [s.l: s.n.].

KING, D. A.; WRIGHT, S. J.; CONNELL, J. H. The contribution of interspecific variation in maximum tree height to tropical and temperate diversity. **Journal of Tropical Ecology**, v. 22, n. 1, p. 11–24, 21 dez. 2005.

LAPOLA, D. M. *et al.* The drivers and impacts of Amazon forest degradation. **Science**, v. 379, n. 6630, 27 jan. 2023.

MARENGO, J.; SOUZA JUNIOR, C. **Mudanças Climáticas: impactos e cenários para a Amazônia**. São Paulo, dezembro de 2018. [s.l: s.n.].

NEPSTAD, D.; MOREIRA, A.; ALENCAR, A. **A floresta em chamas: origens, impactos e prevenção de fogo na Amazônia. Programa Piloto para a Proteção das Florestas Tropicais do Brasil**. Brasília, 1999. [s.l: s.n.].

PAN, Y. *et al.* A Large and Persistent Carbon Sink in the World's Forests. **Science**, v. 333, n. 6045, p. 988–993, 14 jul. 2011.

PERES, C. A. Ground fires as agents of mortality in a Central Amazonian forest. **Journal of Tropical Ecology**, v. 15, n. 4, p. 535–541, jul. 1999.

PINARD, M. A. *et al.* Ecological characterization of tree species for guiding forest management decisions in seasonally dry forests in Lomerío, Bolivia. **Forest Ecology and Management**, v. 113, n. 2-3, p. 201–213, jan. 1999.

PIVELLO, V R. *et al.* Understanding Brazil's catastrophic fires: Causes, consequences and policy needed to prevent future tragedies. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 19, n. 3, p. 233–255, 1 jul. 2021.

POORTER, L. *et al.* Biomass resilience of Neotropical secondary forests. **Nature**, v. 530, n. 7589, p. 211–214, fev. 2016.

RÉJOU-MÉCHAIN, M. *et al.* biomass: an r package for estimating above-ground biomass and its uncertainty in tropical forests. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 8, n. 9, p. 1163–1167, 29 mar. 2017.

RODRÍGUEZ, J. P.; BALCH, J. K.; RODRÍGUEZ-CLARK, K. M. Assessing extinction risk in the absence of species-level data: quantitative criteria for terrestrial ecosystems. **Biodiversity and Conservation**, v. 16, n. 1, p. 183–209, 27 out. 2006.

ROSWELL, M.; DUSHOFF, J.; WINFREE, R. A conceptual guide to measuring species diversity. **Oikos**, v. 130, n. 3, p. 321–338, 9 fev. 2021.

SILVA, C. V. J. *et al.* Drought-induced Amazonian wildfires instigate a decadal-scale disruption of forest carbon dynamics. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 373, n. 1760, p. 20180043, 8 out. 2018.

SILVÉRIO, D. V. *et al.* Testing the Amazon savannization hypothesis: fire effects on invasion of a neotropical forest by native cerrado and exotic pasture grasses. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 368, n. 1619, p. 20120427, 5 jun 2013.

SPINOLA, J. N. *et al.* A shared perspective on managing Amazonian sustainable-use reserves in an era of megafires. **Journal of Applied Ecology**, v. 57, n. 11, p. 2132-2138, 2020.

THE ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 181, n. 1, p. 1–20, 24 mar. 2016.

TOLEDO, P. M. *et al.* Development paradigms contributing to the transformation of the Brazilian Amazon: do people matter? **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 26, p. 77-83, 2017.

UHL, C.; BUSCHBACHER, R.; SERRAO, E. A. S. Abandoned Pastures in Eastern Amazonia. I. Patterns of Plant Succession. **The Journal of Ecology**, v. 76, n. 3, p. 663, set. 1988.

WITHEY, K. *et al.* Quantifying immediate carbon emissions from El Niño-mediated wildfires in humid tropical forests. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 373, n. 1760, p. 20170312, 2018.

ZANNE, A. E. *et al.* Data from: Towards a worldwide wood economics spectrum. **Dryad Digital Repository**, 4 fev 2009.

ZARIN, D. J. *et al.* Legacy of fire slows carbon accumulation in Amazonian forest regrowth. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 3, n. 7, p. 365-369, 2005.

4 RESTORING FIRE-DEGRADED SOCIAL FORESTS VIA BIOCULTURAL APPROACHES: A KEY STRATEGY TO SAFEGUARD THE AMAZON LEGACY⁷

Abstract

Wildfires have emerged as an escalating source of tropical forest degradation with a cascade of negative consequences for the sustainable development of tropical regions. This is particularly the case in the Amazon forest region as wildfires have already degraded a considerable extension of both secondary and old-growth forests, including “social forests” managed by traditional communities into protected areas. Here, we advocate in favor of a neglected perspective recognizing wildfires as an escalating threat of unanticipated but certainly devastating impacts on social forests, communal territories, the social reproduction of local/traditional forest-based communities, and the network of protected areas devoted to safeguard the Amazon forest legacy, including ecosystem services of global relevance such as climate regulation. In response to this prognosis, we call for a research agenda focused on fire drivers, impacts, management, and mitigation, including the establishment of biocultural restoration initiatives/pilot programs in communal territories. Initiatives should integrate co-produced goals, approaches, and technology to economically, socially, and politically empower those stakeholders with an effective interest in forest persistence although they are already vulnerable. Finally, we propose a governance model connecting key stakeholders to scale up fire-related bio-cultural restoration in the Amazon region with the potential to produce timely and globally relevant knowledge and lessons. We hope our ideas stimulate key stakeholders to promote biocultural initiatives able to guarantee the emergence of sustainable territories and thus safeguard the climate-buffering Amazon forest and its legacy for the sake of both local and global society.

Key-words: Amazon fire; degraded forest; extractive reserve; forest restoration; restoration policy

⁷ Artigo publicado na revista *Restoration Ecology* (<https://doi.org/10.1111/rec.13976>) e tem por autores: Cassio Alves Pereira, Marcelo Tabarelli, Maria Fabiola Barros e Ima Célia G Vieira.

4.1 Implications for practice

- (i) Restoration of the fire-degraded social forest is mandatory to safeguard the social reproduction of traditional cultures and the integrity of their territories.
- (ii) Biocultural restoration allows the restored forest to be a key component in the strategy to promote alternative trajectories for the remaining forest in anthropic landscapes and should play a higher protagonism in the global agenda.
- (iii) It was recognized here that local communities should take a more prominent role in restoration projects to guarantee initiatives able to deliver all potential benefits promised by biocultural restoration.
- (iv) Scaling up social forest restoration requires the integration of multiple stakeholders via ambitious public policies and new governance models.

4.2 Introduction

It is already a consensus that tropical forests represent irreplaceable habitats relative to biodiversity conservation and provision of ecosystem services of global relevance such as climate regulation (Ferraz *et al.*, 2014). Accordingly, as climate change imposes its devastating effects the claim for tropical forest protection becomes louder. However, tropical forests are more than a source of regulation/protection ecosystem services and the home of magnificent species since thousands of indigenous cultures and traditional communities not only continue to develop in close association with forest resources but also have transformed forest habitats into their permanent home and territories; i.e. forest-based but in many contexts already vulnerable communities (Toledo *et al.*, 2017). It is well known that countries containing high biological diversity also contain high linguistic and cultural diversity (Loh; Harmon 2005).

Regardless of any relevance, tropical forests continue to be replaced by other land uses, particularly by crop/pasture fields due to a combination of (1) an increasing demand for global commodities from crops to minerals, (2) large extents of “public undesignated forest lands”, which can be privately owned as locals are removed from their traditional territories, (3) lack of socioecological regulation and/or weak governance, and (4) low market-related values exhibit by standing forests as compared to alternative land uses (Austin *et al.*, 2017). Deforestation across new colonization frontiers not only represents a serious threat to biodiversity and ecosystems services but also the elimination of priceless cultures via violent

mechanisms of “deterritorialization” by public and private stakeholders (Toledo *et al.*, 2017; Peres *et al.*, 2023).

Accordingly, reduce deforestation is one of the main targets by any responsible/effective strategy to promote the sustainable development of tropical forest regions for the sake of locals but also to the global society. However, land-use intensification and climate change have introduced a new threat and a potent driver of forest degradation: intense/prolonged droughts associated with ENSO anomalies and accidental wildfires occurring repeatedly; hereafter simply wild forest fires (Brando *et al.*, 2020). Briefly, the Amazon region is expected to experience precipitation decline, higher temperatures, a decreasing number of consecutive wet days and more frequent events of intense droughts such as the El Niño droughts (Chou *et al.*, 2015; Berenger *et al.*, 2021, Canoa *et al.*, 2022) as in this region climate change alters the intensity, frequency and duration of extreme climatic events, including severe floods (Lovejoy; Nobre, 2018). Isolated or combined with other disturbances, intense droughts shall promote massive wildfires such as those that occurred in the Amazon region along the last three intense droughts in the 21st century (Aragão *et al.*, 2018). Moreover, up to 20% of the remaining forest in the eastern Amazon is expected to burn in the next years (Brando *et al.*, 2020) by a combination of wildfires and those explicitly used as a tool for forest clearance; i.e. “deforestation fires” in contrast to wildfires.

Forest wildfires occur across, and thus threaten, a variety of socioecological contexts, including public protected areas devoted to biodiversity conservation, but also those devoted to safeguard traditional populations and the forest they live upon such as the sustainable use category according to IUCN. As forest degradation, by logging, land-use intensification and climate change, exacerbates (the three connected drivers of wild forest fires), fire events tend to be more frequent, intense and widespread (Barlow *et al.*, 2020). In this new ecological scenario or the “new normal” (Brando *et al.*, 2020), lower rates of deforestation via improved governance will not either prevent or mitigate the multiple socioecological impacts imposed by wildfires. In fact, forest degradation by timber extraction, fire, edge effects and extreme droughts has already achieved the scores/impacts by deforestation relative to extension, carbon and biodiversity loss in the Amazon region (Berenger *et al.*, 2021, Lapola *et al.*, 2023).

Here we advocate in favor of a key perspective recognizing wildfires as an escalating threat of unanticipated but certainly devastating impacts on social forests, communal territories, the social reproduction of local/traditional forest-based communities and the network of protected areas devoted to safeguard the Amazon forest legacy, including ecosystem services.

As social forests here we refer to those covering communal/ancient territories, usually as a wide belt surrounding human settlements, with a long history of exploitation/management devoted to forest products via extractivism, such as timber, NTFP and bushmeat, which are exploited individually or collectively for subsistence/commercial purposes, but also those products from slash-and-burn agriculture. In addition to the communal land tenure, here the term “social” emphasizes the pivotal role these forests historically play relative to the local’s social reproduction.

In response to such an alarming prognosis, we call for a research agenda focused on fires drivers, impacts, management and mitigation, including the establishment of biocultural restoration initiatives/pilot programs. Initiatives should integrate co-produced goals, approaches and technology in order to economically, socially and politically empower those with effective interest in forest persistence although already vulnerable. Finally, we propose a governance model connecting key stakeholders in order to scale-up fire-related biocultural restoration in the Amazon region with potential to produce timely and globally relevant knowledge and lessons. The perspective/proposals discussed here result in some extension from our own experience in the Tapajós-Arapiuns Extractive Reserve and surrounding areas (Pará state, Brazil, eastern Amazon region). The Tapajós region is literally a “hotspot” relative to repeated wildfires and land-tenure conflicts but also to initiatives devoted to forest sustainable use supported by local stakeholders (Ioris, 2018).

4.3 Communal territories, social forests and wildfires

Forest integrity, persistence and the hope for a sustainable development for the Amazon region rely in a large extent in the immense network of public protected natural areas, indigenous territories/reserves (Silva *et al.*, 2022) and afro-descendent ancestral territories, including extractive/sustainable use reserves (RESEX), public forests (FLONA) and reserves for sustainable development (RDS) and similar categories at state level according to the Brazilian System of Protected Areas. Currently, this network of protected areas and communal territories, hereafter PACTs cover around 130 million hectares of forests within the territories of uncountable cultures and traditional communities in the Brazilian territory, but with similar relevance in other Amazon countries (see Bowman *et al.*, 2021).

The socioecological benefits from PACTs have long been recognized, including deforestation avoidance, biodiversity persistence and the promise of a forest-based economy in

accordance to the SDGs (Porter-Bolland *et al.* 2011). Half of the remaining forest carbon in the Brazilian Amazon persists into protected areas, while illegal deforestation across undesignated public lands responded for more than three-thirds of CO₂ emissions by the Brazilian Amazon region in the last decade (Kruid *et al.* 2019), Thereby, the PACTs relevance remains timely more than ever including as a political thesis recognizing a deep interconnection between traditional communities, forest persistence/integrity and public land tenure (Toledo *et al.*, 2017).

In Brazil, in fact, PACTs as instruments of socioecological development and governance were created and/or implemented through the 80's by the Brazilian government as a response to increasing levels of deforestation and violence against traditional communities (e.g. indigenous groups, caboclos, seringueiros, fisherman), perpetrated for the sake of foreign “entrepreneurs” across new and aging frontiers. Such a deterritorialization continues to expand via public infrastructure, financial incentives, colonization programs and lack of effective governance (Toledo *et al.*, 2017; Peres *et al.*, 2023).

Recurrent wildfires have been proved to drive forests towards low-biomass and reduced tree-cover vegetation types in the Amazon region (Barlow; Peres. 2008). Furthermore, wildfires are likely to degrade social forests and thus make social reproduction of traditional communities harder (see Brandão *et al.*, 2022) and their territories more vulnerable to the constant assault by those in search of land, timber or minerals. Briefly, social forests can be described as a mosaic containing a mix of regenerating forest stands of varying age (due to slash-and-burn agriculture) plus remaining patches of old-growth forest. Such successional mosaics of communal/ancestral forests have been managed for centuries or even millennia (see Levis *et al.*, 2018) on the basis of traditional ecological knowledge and represent the main asset across these traditional territories (Evangelista-Vale *et al.*, 2021; Brandão *et al.*, 2022). Precisely, the social forests operate as the community storehouse by providing nutrients for agriculture, game species, timber and non-timber forest products which are essential in terms of subsistence (food security) and commercial items (as fruits, nuts, medicines, honey, vegetal fibers, resin/latex and timber).

Collectively, the RESEX Tapajós-Arapiuns (eastern Amazon region) cover 6,476 km² of forests and are currently inhabited by 78 traditional communities, with 4853 households including indigenous people (including Tupinambá, ethnic group we worked with). Nearly $\frac{3}{4}$ of the households in the Tapajós region collect NTFPs as does nearly 6 million of households in the Amazon region (Lopes *et al.* 2019). During the 2016-2017 dry seasons, another round of wildfire event degraded over 10000 km² of forests in the Tapajós region (Whitey *et al.*, 2018),

one of the Amazon centers of species endemism (Silva *et al.*, 2005). Fire degraded near a quarter of the RESEX and 14% of the FLONA forest cover (Nobrega Spínola *et al.*, 2019). Most of it referred to social forests around settlements (see Whitey *et al.*, 2018). As fire effects, locals have reported the total/partial elimination of both timber and non-timber forest products, including hardwoods, fruiting/nut trees, ancient tree species used to collect oils and medicines to mention a few (I. Vieira unpublished). Fire also degraded hunting grounds, orchards, backyards, hubber and stands of Brazilian cashew nuts (see also Peres *et al.*, 2003). Most of tree species offering resources for medium-to-large vertebrates in this region have been proved to be sensitive to fire, most of them also valuable for locals.

Locals also reported to us (1) a drastic decline in meat consumption as game species (e.g. deer species, peccaries, primates) declined in the years subsequent to fires as well low fruit production by remaining trees as documented in previous wildfires in this region (Barlow & Peres 2008), and (2) the proliferation of poisonous snakes such as the surucucu (*Lachesis muta*) as a dense second-growth provide shelter according to locals. Other “health-related ecosystem disservices” resulting from forest degradation shall emerge, such as the increment of zoonotic diseases, as degradation potentially favor the proliferation of disturbance-adapted vertebrates (e.g. marsupials and rodents), which operates as pathogen reservoir in the Amazon region (Winck *et al.*, 2022).

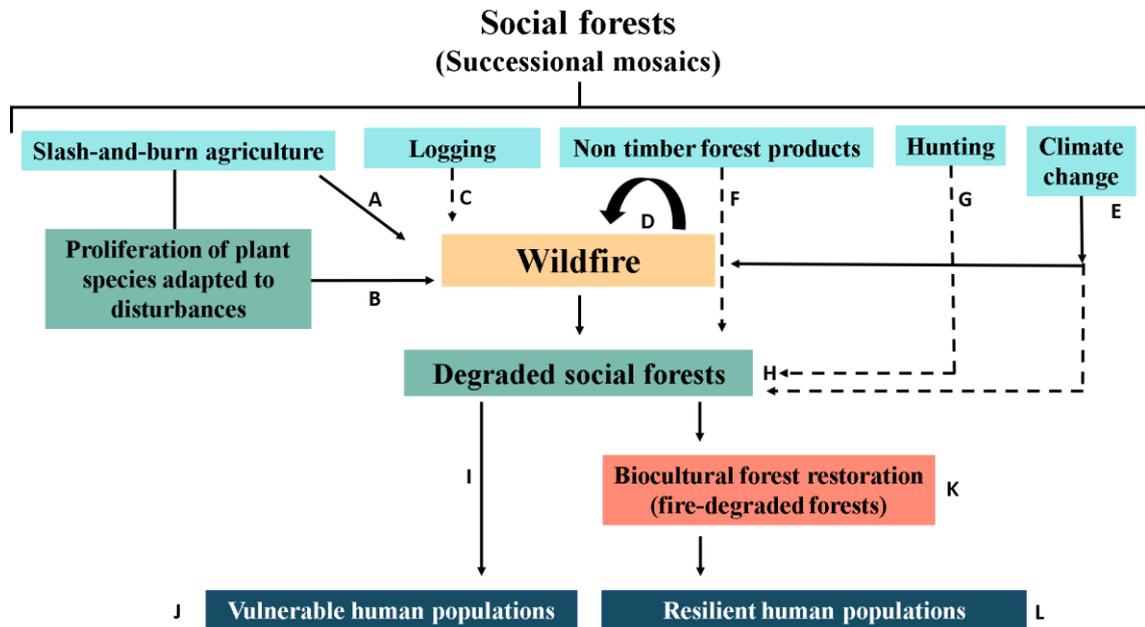
Finally, biomass collapse and proliferation of low-density trees also implies lower forest ability to provide key regulation/controlling services such as carbon sequestration, watershed protection and all other services associated with forest biomass (Silva Junior *et al.*, 2020). Such effects by wildfires can be temporary (i.e. at least decades) or permanent as fires deplete the old-growth flora (which concentrates forest resources) while favoring light-demanding, short-lived tree species and small-seeded species (Barlow; Peres, 2008). Such a brief report/prognosis from the Tapajós highlights some of the unanticipated connections between wildfires, social forests, livelihood of traditional communities and the long-term persistence of communal territories. Precisely, preliminary evidence (both empirical and anecdotal) suggests that wildfires can drastically reduce forest capability to deliver services, with tangible (but still to be measured) economic/social/health impacts on locals and the long-term persistence/integrity of their territories in some extent already predicted by a forest-degradation model and its ecological, economic and social cascades and feedbacks (see Lapola *et al.*, 2023).

4.4 Addressing forest fires via an integrated research agenda

Wildfire drivers, management, effects and mitigation depend on the socioecological context it occurs. Overall, there is no doubt about the fire potential to degrade tropical forests relative to biodiversity persistence (Barlow; Peres 2002), aboveground forest biomass (Brando *et al.*, 2020) and related ecosystems services, although the magnitude of such effects is still to be completely documented. However, the connections between forest degradation, multiple ecosystem services, and social reproduction/empowering of traditional communities in the Amazon require urgent attention since (1) wildfires are likely to occur in the same frequency intense droughts occur (Barlow *et al.*, 2020), (2) burned forest are more prone to subsequent intense fire events; i.e. surface fires moving to canopy fires, (3) forest regeneration following severe damages can experience arrested succession due to a combination of drivers including elevated seedling and tree mortality, seed dispersal limitation, and grass invasion, and (4) forest persistence, integrity and even land tenure status depend in a large extent on the social reproduction of locals and their effective/direct engagement into the wildfire agenda (see Balch *et al.*, 2013; Carmenta *et al.*, 2016; Flores *et al.*, 2021; Mata *et al.*, 2022; Canoa *et al.*, 2022). As stated before, forest degradation has already exceeded deforestation in the Brazilian Amazon (Matricardi *et al.*, 2020).

We argue in favor of a regional-wide scientific agenda and pilot projects/initiatives addressing fire drives, effects, management, and mitigation practices. Both anecdotal evidence and literature permit to propose working hypotheses addressing fire drivers, effects and mitigation in the PACT context. Fire used to prepare crop fields (or renovate pastures) become uncontrolled and expand across social forests (Fig. 14A). Slash-and-burn agriculture is associated with the proliferation of pioneer palms, which favor fires by producing large amounts of flammable frond-related litter (Fig. 14B). High-intensity logging favor wildfires by created more open/desiccated habitats with the accumulation of flammable materials such as dead biomass (Fig. 14C). Wildfire not only benefit from such degrading effects imposed to social forests, but also facilitate subsequent fire events by creating more open/desiccated habitats and via the accumulation of flammable material such as dead wood (Fig. 14D). Finally, intense droughts or prolonged dry seasons, higher temperatures, and decreasing precipitation levels associated with climate change turn these fire-prone mosaics more flammable by reducing forest understory humidity but also cause tree mortality (Fig. 14 D); i.e. the forest firebreak (Balch *et al.*, 2013; Brando *et al.*, 2020).

Figura 14 - Drivers leading to the degradation of social forests and potential trajectories resulting in either vulnerable or resilient human populations inhabiting traditional territories in the Amazon region. Dotted lines indicate those drivers associated with forest exploitation by locals (C, F, G) and considered less impacting than wildfires (D). In this context, degraded forests emerge particularly in the case wildfires occur with biocultural restoration (L) as an essential tool to guarantee the social reproduction of traditional communities and physical/ecological integrity of their communal territories.



Gradual depletion of hardwoods, game populations operating as seed dispersers, and NTFPs as they experience long-term exploitation into social forests (Shanley; Luz 2003), probably limit burned forest to recovery fast considering the services required by locals (Fig. 14 F, G). Such a network of multiple interaction and feedbacks result in degraded social forests experiencing arrested succession or new successional trajectories towards a tipping point or alternative stable states (Fig. 14H) as frequently predicted as the up-coming destination of the Amazon forest (Lovejoy; Nobre, 2018). In the context of social forests, wildfires represent an additional but catalyzing force of forest degradation, which speed up the exhaustion of forest products for both market and subsistence. As forests no longer support the attributes by unburned social forests, particularly the old-growth patches, and their multiple value/services, local communities become more vulnerable via a cascade of economic, subsistence, health and ecological consequences still to be investigated (Fig. 14I, J).

This perspective demands for the restoration of already degraded social forests as a mitigation procedure but also as an opportunity to empower locals and thus reduce their vulnerability (Fig. 14 K.L). Here we argue for biocultural approaches as co-produced nature,

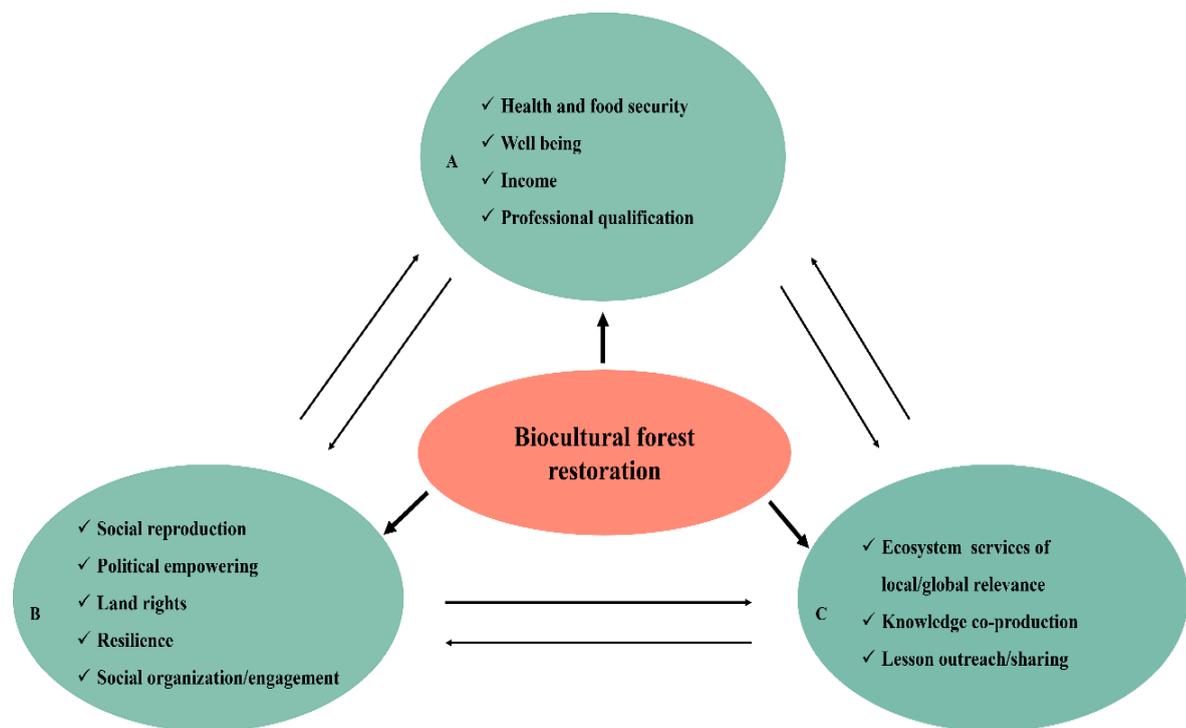
knowledge and potential sustainability solutions able to dialogue with social reproduction, cultural values/identity, improved wellbeing and the resilience of the whole socioecological system (see Hanspach *et al.*, 2020). Briefly, biocultural restoration of social fire-degraded forests shall integrate effective support for sociocultural reproduction, considering what locals recognize as relevant relative to ecosystem services and disservices, plus other potential targets such as biodiversity persistence and delivery of globally relevant services such as carbon storage and climate regulation; i.e. restored social forests as human-nature co-dependent system resulting into a biocultural heritage (Gavin *et al.*, 2015; Winter *et al.*, 2020). Thereby, all steps across the entire initiative must be discussed, agreed, planned and executed with locals and their representative associations. Such a protagonism/empowering based on reciprocal relationships among stakeholders or participatory active restoration (Rao *et al.*, 2022) is critical to guarantee restoration engagement, equity and effectiveness (Löfqvist *et al.*, 2023). It is also in accordance with the required connections between global changes, vulnerable populations and human rights since a safe, clean, healthy, and sustainable environment is a fundamental human right, but gains and losses from global changes are unequally distributed as postulated by the Climate Justice approach (Sultana, 2022).

Our own experience in the Tapajos region (Vieira *et al.*, 2023) indicates that a compromise between a local perspective and other potential restoration goals associated with services of global relevance is possible to be persecuted. But with social forests degraded by fire across large extents and the consequent shortage of forest products, at least for decades, locals express a pragmatic view. Restoration is locally perceived as tool to rapidly obtain market-valuable forest products, such as fruit pulp and valuable seeds to obtain cash and better afford livelihood including food security. However, as a social construction able to empower vulnerable stakeholders, tropical forest biocultural restoration is a long-term enterprise, through which additional goals can be continuously added (such as regulation/supporting/cultural services) as initial targets are achieved.

Accordingly, the biocultural restoration of social forests shall be able to (1) meet local perceptions and demands in support to their livelihood and well-being including health and food security (Fig. 15A), (2) guarantee social reproduction while enhance their local organizations and political protagonism (Fig. 15B), and (3) provide local and globally-relevant ecosystem services such as biodiversity persistence, forest products and climate regulation but also scientific lessons/knowledge to be shared worldwide (Fig. 15C). To achieve these interconnected/interacting major goals, restored social forests are expected to (1) contribute to

food security via products consumed locally, (2) provide raw materials consumed/demanded locally such as timber and fibers, (3) offer market-valuable items, (4) delivery key regulating/supporting services such as watershed protection, microclimatic and disease control, (5) serve as complementary habitat for the local/regional biodiversity, (6) operate as a buffer zone against the exploitation of the protected-area , (7) reduce wildfire risk, and (8) operate as a tool of education, capacity building and co-production of scientific knowledge. Collectively, these goals are expected to make social forests, traditional territories, protected areas and their populations less vulnerable to the continuous forest encroachment by agrobusiness/logging/mining and climate-change driven droughts.

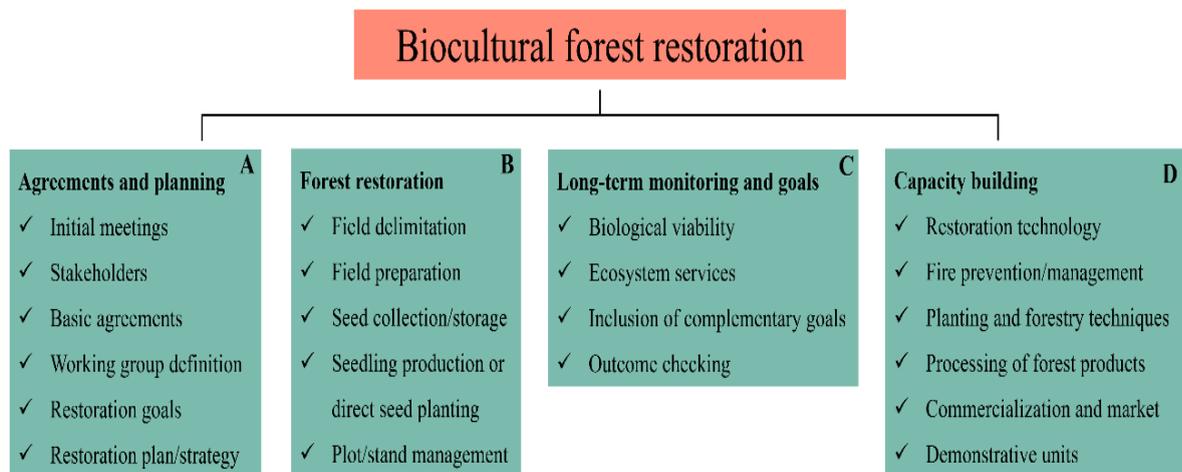
Figura 15 - Biocultural forest restoration and their potential impacts/benefits on traditional communities inhabiting communal territories (A-B), plus its role as a tool to guarantee forest capacity to deliver key ecosystem services, while it produces knowledge and lessons to be shared (C).



In this socioecological context, social-forest biocultural restoration can be carried out via four basic components (i.e. a related set of actions), starting with basic agreements/discussions among the stakeholders (Fig. 16A) and then moving towards assisted restoration via seedling planting and stand management (Fig. 16B), in parallel to long-term monitoring (Fig. 16C). This should consider the multiple dimensions and outcomes such as the inclusion of complementary goals focused on globally-relevant ecosystem services. Finally,

capacity building (Fig. 16D) operates as a transversal component since each component requires specific skills by locals and their organizations in order to support restoration and its ultimate socioeconomic goals. In this context, a network of demonstrative units or pilot projects across territories already affected by wildfires, such as the one we started in the RESEX Tapajós-Arapiuns, represents a milestone.

Figura 16 - The major components involved into biocultural forest restoration initiatives in the context of fire degraded forests into communal territories in the Amazon region from initial agreements (A) through forest-restoration related actions (B), long-term monitoring (C) and capacity building as transversal component (D).

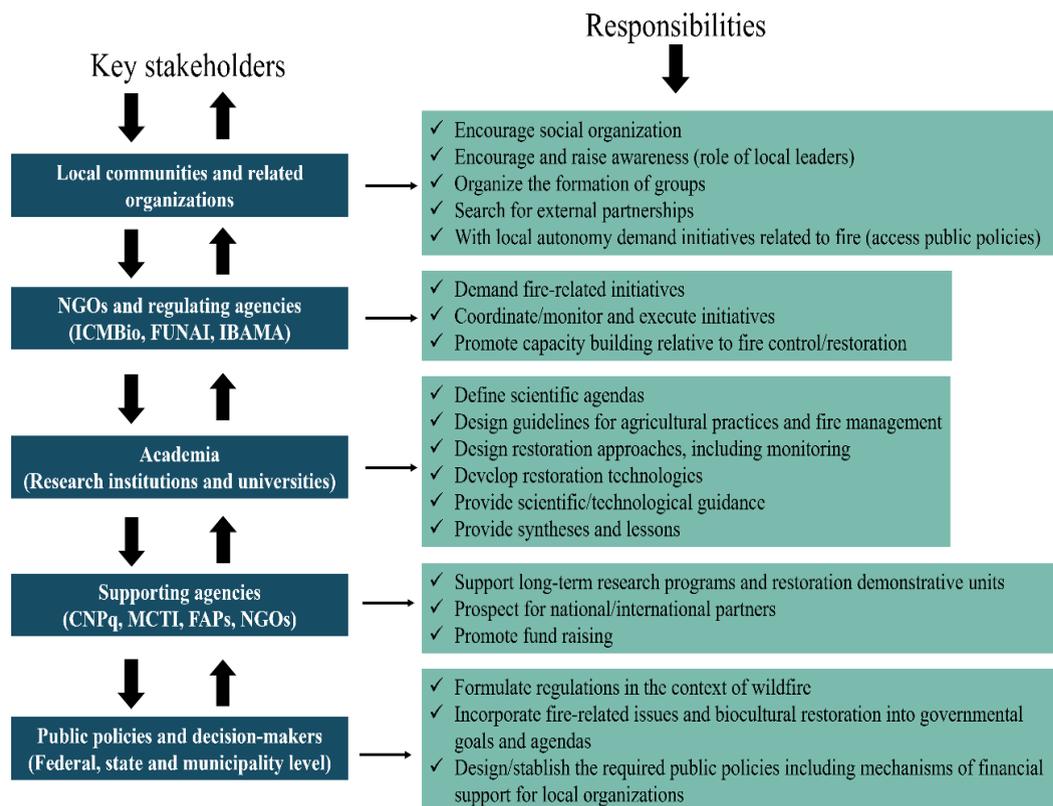


4.5 Scaling up biocultural restoration

Tropical forest restoration is already present as a general recommendation to promote sustainability as well as into international commitments (Garret *et al.*, 2021). However, forest wildfires and the required restoration approaches must be definitely introduced and gain a protagonism in the agenda of those stakeholders somehow involved with the sustainable use of tropical forest and the social development of tropical regions. In order to scaling up such timely approach, it is required an operational framework integrating key stakeholders, which represent different levels of governance and related responsibilities (Fig. 17). They should be intrinsically connected via a bottom-up but also top-down operational structure, with initiatives/programs starting with the claim by traditional communities and the agencies in charge of protected areas/territories and then moving across academy, science-support agencies and decision/policy making levels (Fig. 17). On the other way, researchers and decision-makers are able to present their expectations, demands and opportunities such as financial support for the locals

responsible for restoration. In synthesis, each stakeholder or governance/operational level has a set of responsibilities, which are supposed to emerge from a cross-level permanent dialogue in order to guarantee that all goals intended by biocultural restoration initiatives are achieved. consider that droughts and wildfires are expected to be recurrent in the Amazon region, while fire-related policies, regulations and guidelines focused on fire control/avoidance remain far away from the Amazon reality (Carmenta *et al.*, 2013). Such a fire-prone context, poses a permanent threat to restoration initiatives on the ground and thus reduces the chance for a successful/appealing program if not addressed effectively.

Figura 17 - Major stakeholders and their main responsibilities into initiatives devoted to biocultural forest restoration in the context of fire-degraded social forests into communal/traditional territories in the Amazon region. Acronyms represent Brazilian federal agencies operating into the focal context.



To move farther the biocultural restoration of fire-degraded social forests, it is relevant to acknowledge that Brazil has a clear leadership among tropical countries relative to scientific knowledge, public policies and conservation/sustainable development initiatives despite some step-backs in the last years. In this context, the Amazon forest and PACTs remain as an

immense natural laboratory, from which the Brazilian instructional capacity can continue to provide globally relevant knowledge, lessons, approaches and public policies, including the hole played by PACTs to guarantee tropical forest integrity/persistence and their legacy with benefits deeply aligned with the SDG.

We hope our ideas stimulate key stakeholders to promote biocultural initiatives able to guarantee the emergence of sustainable territories and thus safeguard the climate-buffering Amazon forest and its legacy for the sake of both local and global society.

Acknowledgments

This research received financial support from the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Call CNPq/Prevfogo-Ibama 33/2018- Grant CNPq 441961/2018-5) and from the Institute for Climate and Society (ICS grant no 21-00946 – J/W). It is part of the Postgraduate Program in Environmental Sciences at the Museu Paraense Emilio Goeldi and Universidade Federal do Pará. We would like to thank Conselho Indígena Tupinambá do Baixo Tapajós Amazônia- CITUPI, Conselho Indígena Tapajós Arapiuns-CITA and Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade-ICMBIO for support during this work. We thank the communities members of Muratuba and Jaurituba villages at the RESEX Tapajós-Arapiuns for the exchange of experiences and knowledge during the project planning/execution and the inspiration to continue moving forward. ICGV and MT received support from CNPq (Proc. 350182/2022-1 and 314215/2021-2). M. Holmgren and another anonymous reviewer offered useful criticism on the manuscript.

Literature cited

- ARAGÃO, L. E. O. C. *et al.* 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. **Nature Communications**, v. 9, e536, 2018.
- AUSTIN, K. G. *et al.* Trends in size of tropical deforestation events signal increasing dominance of industrial-scale drivers. **Environmental Research Letters**, v. 12, e 079601, 2017.
- BALCH, J. K. *et al.* Effects of high-frequency understory fires on woody plant regeneration in southeastern Amazonian forests. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 368, e 20120157, 2013.
- BARLOW J. *et al* Clarifying Amazonia's burning crisis. **Global Change Biology**, v. 26, n. 2, p. 319– 321, 2020.

- BARLOW, J.; PERES, C. A. Fire-mediated dieback and compositional cascade in an Amazonian forest. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Science**, v. 363, n. 1498, p. 1787–1794, 2008.
- BERENGUER, E. *et al.* Tracking the impacts of El Niño drought and fire in human-modified Amazonian forests. **PNAS**, v. 118, n. 30, e2019377118, 2021;
- BOWMAN, K. W. *et al.* Environmental degradation of indigenous protected areas of the Amazon as a slow onset event. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 50, p. 260–271, jun. 2021.
- BRANDÃO, D. O.; BARATA, L. E. S.; NOBRE, C. A. The Effects of Environmental Changes on Plant Species and Forest Dependent Communities in the Amazon Region. **Forests**, v. 13, n. 3, p. 466, 16 mar. 2022.
- BRANDO, P. *et al.* Amazon wildfires: Scenes from a foreseeable disaster. **Flora**, v. 268, p. 151609, 15 maio 2020.
- CANO, I. M. *et al.* Abrupt loss and uncertain recovery from fires of Amazon forests under low climate mitigation scenarios. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 119, n. 52, 19 dez. 2022.
- CARMENTA, R. *et al.* Does the Establishment of Sustainable Use Reserves Affect Fire Management in the Humid Tropics? **PLOS ONE**, v. 11, n. 2, p. e0149292, 17 fev. 2016.
- CARMENTA, R. *et al.* Shifting Cultivation and Fire Policy: Insights from the Brazilian Amazon. **Human Ecology**, v. 41, n. 4, p. 603–614, 17 jul. 2013.
- CHOU, S. C. *et al.* Assessment of Climate Change over South America under RCP 4.5 and 8.5 Downscaling Scenarios. **American Journal of Climate Change**, v. 03, n. 05, p. 512–527, 2014.
- EVANGELISTA-VALE, J. C. *et al.* Climate change may affect the future of extractivism in the Brazilian Amazon. **Biological Conservation**, v. 257, p. 109093, 2021.
- FERRAZ, S. F. B. *et al.* How good are tropical forest patches for ecosystem services provisioning? **Landscape Ecology**, v. 29, n. 2, p. 187–200, fev. 2014.
- FLORES, B. M. *et al.* Tropical riparian forests in danger from large savanna wildfires. **Journal of Applied Ecology**, v. 58, n. 2, p. 419–430, 13 dez. 2020.
- GARRETT, R. D. *et al.* Forests and Sustainable Development in the Brazilian Amazon: History, Trends, and Future Prospects. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 46, n. 1, 29 abr. 2021.
- GAVIN, M. C. *et al.* Defining biocultural approaches to conservation. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 30, n. 3, p. 140–145, mar. 2015.
- HANSPACH, J. *et al.* Biocultural approaches to sustainability: A systematic review of the scientific literature. **People and Nature**, v. 2, n. 3, p. 643–659, 7 jul. 2020.

- IORIS, E. M. Memory regimes, struggles over resources and ethnogenesis in the Brazilian Amazon. **Vibrant: Virtual Brazilian Anthropology**, v. 15, n. 2, 8 nov. 2018.
- KRUID, S. *et al.* Beyond Deforestation: Carbon Emissions From Land Grabbing and Forest Degradation in the Brazilian Amazon. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 4, 27 jul. 2021.
- LAPOLA, D. M. *et al.* The drivers and impacts of Amazon forest degradation. **Science**, v. 379, n. 6630, 2023.
- LEVIS, C. *et al.* How People Domesticated Amazonian Forests. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 5, 17 jan. 2018.
- LÖFQVIST, S. *et al.* How Social Considerations Improve the Equity and Effectiveness of Ecosystem Restoration. **BioScience**, 14 dez. 2022.
- LOH, J.; HARMON, D. A global index of biocultural diversity. **Ecological Indicators**, v. 5, n. 3, p. 231–241, ago. 2005.
- LOPES, E. *et al.* Mapping the socio-ecology of Non-Timber Forest Products (NTFP) extraction in the Brazilian Amazon: The case of açaí (*Euterpe precatoria* Mart.) in Acre. **Landscape and Urban Planning**, v. 188, p.110-117, 2019.
- LOVEJOY, T. E.; NOBRE, C. Amazon Tipping Point. **Science Advances**, v. 4, n. 2, p. eaat2340, fev. 2018.
- MATA, S. *et al.* Forever young: arrested succession in communities subjected to recurrent fires in a lowland tropical forest. **Plant Ecology**, v. 223, n. 6, p. 659–670, 9 maio 2022.
- MATRICARDI, E. A. T. *et al.* Long-term forest degradation surpasses deforestation in the Brazilian Amazon. **Science**, v. 369, p. 1378–1382, 2020.
- NÓBREGA SPÍNOLA, J. *et al.* A shared perspective on managing Amazonian sustainable-use reserves in an era of megafires. **Journal of Applied Ecology**, v. 57, n. 11, p. 2132–2138, 1 nov. 2020.
- PERES, C. A.; CAMPOS-SILVA, J.; RITTER, C. D. Environmental policy at a critical junction in the Brazilian Amazon. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 38, p. 113-116, 2023.
- PERES, C. A.; BARLOW, J; HAUGAASEN, T. Vertebrate responses to surface wildfires in a central Amazonian forest. **Oryx**, v. 37:, p. 1077-109, 2003.
- PORTER-BOLLAND, S. *et al.* Community managed forests and forest protected areas: An assessment of their conservation effectiveness across the tropics. **Forest Ecology and Management**, v. 268, p. 6-17, 2011.
- RAO, K. S. *et al.* Participatory active restoration of communal forests in temperate Himalaya, India. **Restoration Ecology**, v. 30, e13486, 2022.
- SHANLEY, P; LUZ, L. Eastern Amazonian medicinals: Marketing, use and implications of forest loss. **BioScience**, v. 53, n. 6, p. 66-69, 2003.

- SILVA JUNIOR, C. H. L. *et al.* Persistent collapse of biomass in Amazonian forest edges following deforestation leads to unaccounted carbon losses. **Science Advances**, v. 6, n. 40, p 1-9, 2020.
- SILVA, J. M. C. *et al.* Minimum costs to conserve 80% of the Brazilian Amazon. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 20, n. 3, p. 216-222. 2022.
- SILVA, J. M. C. *et al.* The Fate of the Amazonian Areas of Endemism. **Conservation Biology**, v. 19, p. 689-694, 2005.
- SULTANA, F. Critical climate justice. **The Geographical Journal**, v. 188, p. 118-224, 2022.
- TOLEDO, P. M. *et al.* Development paradigms contributing to the transformation of the Brazilian Amazon: do people matter? **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 26-27, p. 77-83, 1 jun. 2017.
- VIEIRA, I. C. G. V. *et al.* Com saber ancestral, projeto restaura florestas queimadas na Amazônia. **Revista Amazônia Latitude**.
- WINCK, G. R. *et al.* Socioecological vulnerability and the risk of zoonotic disease emergence in Brazil. **Science Advances**, v. 8, n. 26, jul. 2022.
- WINTER, K. B. *et al.* Biocultural restoration in Hawai‘i also achieves core conservation goals. **Ecology and Society**, v. 25, n. 1, 2020.
- WITHEY, K. *et al.* Quantifying immediate carbon emissions from El Niño-mediated wildfires in humid tropical forests. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 373, n.1760, 2018.

5 CONCLUSÃO GERAL

5.1 Resultados Chaves

A degradação de florestas sociais pelo fogo ainda é pouco estudada na Amazônia, por isso esta pesquisa foi realizada com o objetivo de avaliar a percepção das comunidades indígenas da Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns sobre a degradação e as mudanças causadas por incêndios florestais nas condições da sua floresta social, examinar o efeito de dois incêndios consecutivos (2015 e 2017) na estrutura, composição e diversidade de espécies de árvores e palmeiras da floresta, e analisar a possibilidade de construir estratégias para evitar a degradação futura e recuperar as florestas sociais pela abordagem biocultural que integra a pesquisa e o saber tradicional das comunidades indígenas. Nesse sentido, os resultados da pesquisa apresentam contribuições para a conservação ambiental, reprodução social e preservação da cultura de comunidades indígenas da Amazônia. O estudo propõe ainda a inserção das comunidades indígenas e seus saberes tradicionais na agenda de discussão sobre a restauração biocultural de suas terras e florestas.

No tocante à percepção das comunidades indígenas sobre a degradação de suas florestas sociais, verificou que essas populações se percebem em um cenário favorável à ocorrência da degradação florestal, ocasionada pelos incêndios florestais. As principais causas estão relacionadas com a maior vulnerabilidade da floresta na estação seca, que aumenta a inflamabilidade da floresta e que está se tornando cada vez mais recorrente e a prática de agricultura de corte e queima da vegetação para implantação de roçados. Algumas vezes o fogo escapa da área preparada para o roçado e invade a floresta, ocasionando os incêndios. Apesar do conhecimento deste risco e de regras e práticas para o uso do fogo, isso não tem sido suficiente para evitar os incêndios e a degradação das florestas sociais. Além disso, as comunidades percebem perdas sociais, econômicas e ambientais, tais como: redução da caça, escassez de madeira e de frutas, óleos, medicamentos, sementes e outros produtos florestais não madeireiros. Todavia, as comunidades estão dispostas a atuar na contenção desse processo de degradação e na restauração das florestas sociais incendiadas, como forma de recuperar as perdas causadas pelo fogo. Nesta pesquisa, são apresentadas estratégias que podem ser adotadas na escala local, no âmbito das comunidades e das políticas públicas.

O estudo sobre os impactos dos incêndios recorrentes sobre a estrutura e diversidade da floresta mostraram que a biomassa na parte aérea da vegetação foi reduzida e, da mesma forma, houve redução na riqueza e diversidade de espécies e um aumento na similaridade florística

como resultado do aumento da frequência dos incêndios. Portanto, os incêndios florestais recorrentes podem levar a mudanças drásticas na estrutura e na composição da floresta amazônica evidenciando a necessidade urgente de intervenções políticas para reverter essa situação.

Quanto à abordagem biocultural, como estratégia de contenção do processo de degradação e restauração das florestas sociais, os resultados da pesquisa mostram que os incêndios florestais são uma ameaça crescente à reprodução social de comunidades indígenas de base florestal e para a rede de áreas protegidas dedicadas a proteger a floresta amazônica, incluindo seus serviços ecossistêmicos. Em resposta a esse prognóstico, se apresenta uma agenda de pesquisa focada em causadores, impactos, manejo e mitigação de incêndios, incluindo o estabelecimento de iniciativas locais de restauração biocultural. Essas iniciativas devem integrar metas, abordagens e tecnologia coproduzidas, a fim de capacitar econômica, social e politicamente aqueles com interesse efetivo na persistência florestal. Ainda é apresentado um modelo de governança conectando as principais partes interessadas com o intuito de ampliar a restauração biocultural relacionada ao fogo na região amazônica com potencial para produzir conhecimento e lições oportunas e globalmente relevantes.

5.2 Conclusões de forma integrada

Os incêndios florestais estão provocando a degradação das florestas sociais da Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns causando alteração na estrutura e reduzindo a diversidade e composição de espécies da floresta e perdas sociais e econômicas às comunidades indígenas residentes. Os efeitos previstos decorrentes das mudanças climáticas, sobretudo o aumento das secas severas durante os eventos *ElNino*, podem acentuar esse problema. As comunidades indígenas percebem esse problema e estão dispostas a atuar no controle da degradação e na recuperação das áreas de floresta que já foram degradadas adotando a abordagem de restauração biocultural. No entanto, há necessidade de elaborar uma agenda que fortaleça esse interesse das comunidades indígenas, ajudando-as a melhor se organizarem e juntarem esforços com a academia, as instituições gestoras das áreas de florestas e o poder público. Esse estudo pioneiro de abordagem biocultural desenvolvido na floresta social da Resex demonstrou potencial e precisa ser reproduzido em outras áreas da Amazônia e de florestas tropicais do planeta podendo contribuir para soluções globais.

5.3 Prioridades para pesquisa

Nosso estudo apresenta uma contribuição ao debate acerca da relação incêndios, degradação de florestas sociais e restauração biocultural, no entanto, pesquisas mais aprofundadas sobre o tema ainda precisam ser realizadas e, desta forma, produzir mais informações para fortalecer os movimentos socioambientais, embasar o debate científico e orientar políticas públicas voltadas ao fortalecimento das comunidades tradicionais e à conservação de floresta na Amazônia. Nesse sentido, pesquisas sobre a dinâmica da regeneração natural e sobre o crescimento das florestas degradadas por incêndios devem ser continuadas para analisar o efeito do fogo e seus impactos sociais, econômicos e ambientais, bem como a regeneração da floresta, ao longo do tempo. Da mesma forma, novos estudos a respeito da restauração biocultural devem ser incentivados.

Por fim, nas áreas habitadas por indígenas e comunidades tradicionais, caso da Resex e outras unidades de conservação e áreas de floresta social da Amazônia, é crescente o número de jovens nativos ingressando e egressos de universidades, faculdades e outras instituições de ensino e pesquisa que devem compor equipes e serem protagonistas em pesquisa futuras.

REFERÊNCIAS

- AGUDELO, C. A. R. *et al.* Planejamento do uso da terra na bacia amazônica: desafios do pensamento de resiliência. **Ecologia e Sociedade**, v. 25, n.1, 2020.
- ANDRADE, D. F. C. *et al.* Forest resilience to fire in eastern Amazon depends on the intensity of pre-fire disturbance. **Forest Ecology and Management**, v. 472, e118258, 2020.
- ANDERSON, L. O. *et al.* Disentangling the contribution of multiple land covers to fire-mediated carbon emissions in Amazonia during the 2010 drought. **Global biogeochemical cycles**, v. 29, n. 10, p. 1739-1753, 2015.
- ARAGÃO, L. E. O. C; SHIMABUKURO, Y. E. The incidence of fire in Amazonian forests with implications for REDD. **Science**, v. 328, n. 5983, p. 1275-1278, 2010.
- AZEVEDO, A. D. L. *et al.* Perception of the local community: What is their relationship with environmental quality indicators of reservoirs? **PLoS One**, v. 17, n. 1, e0261945, 2022.
- BRANCALION, P. H. S. *et al.* Global restoration opportunities in tropical rainforest landscapes. **Science advances**, v. 5, n. 7, p. eaav3223, 2019.
- BARLOW, J. *et al.* Large tree mortality and the decline of forest biomass following Amazonian wildfires. **Ecology letters**, v. 6, n. 1, p. 6-8, 2003.
- BARLOW, J. *et al.* Anthropogenic disturbance in tropical forests can double biodiversity loss from deforestation. **Nature**, v. 535, n. 7610, p. 144-147, 2016.
- BARLOW, J. *et al.* Chapter 29: Restoration priorities and benefits within landscapes and catchments and across the Amazon basin. **UN Sustainable Development Solutions Network (SDSN) eBooks**, 12 nov. 2021.
- BERENGUER, E. *et al.* A large-scale field assessment of carbon stocks in human-modified tropical forests. **Global Change Biology**, v. 20, n. 12, p. 3713-3726, 2014.
- BERENGUER, E. *et al.* Tracking the impacts of El Niño drought and fire in human-modified Amazonian forests. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 118, n. 30, p. e2019377118, 2021.
- BLACK, C. *et al.* Wildfire smoke exposure and human health: Significant gaps in research for a growing public health issue. **Environmental toxicology and pharmacology**, v. 55, p. 186-195, 2017.
- BONILLA-ALDANA, D. *et al.* Brazil burning! What is the potential impact of the Amazon wildfires on vector-borne and zoonotic emerging diseases? – A statement from an international experts meeting. **Travel Medicine and Infectious Disease**, v. 31 e101474, 2019.
- BRANDÃO, D. O. *et al.* The effects of environmental changes on plant species and forest dependent communities in the Amazon region. **Forests**, v. 13, n. 3, p. 466, 2022.
- CALMON, M. Restauração de florestas e paisagens em larga escala: o Brasil na liderança global. **Ciência e Cultura**, v. 73, n. 1, p. 44–48, jan. 2021.

- CAMELLI, F. *et al.* Smallholders' Perceptions of Fire in the Brazilian Amazon: Exploring Implications for Governance Arrangements. **Human Ecology**, v. 47, 2019.
- COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR-CAPES. **Documento de área interdisciplinar 2009**.
- CARMENTA, R. *et al.* Understanding human-fire interactions in tropical forest regions: a case for interdisciplinary research across the natural and social sciences. **Ecology and society**, v. 16, n. 1, 2011.
- CARMENTA, R. *et al.* Shifting Cultivation and Fire Policy: Insights from the Brazilian Amazon. **Human Ecology**, v. 41, n. 4, p. 603–614, 17 jul. 2013.
- CHAZDON, R. L. Regeneração de florestas tropicais. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi-Ciências Naturais**, v. 7, n. 3, p. 195-218, 2012.
- CHAZDON, R. L.; LAESTADIUS, L. Forest and landscape restoration: toward a shared vision and vocabulary. **American Journal of Botany**, v. 103, n. 11, p. 1869-1871, 2016.
- CHAZDON, R. L.; URIARTE, M. Natural regeneration in the context of large-scale forest and landscape restoration in the tropics. **Biotropica**, v. 48, n. 6, p. 709-715, 2016.
- COCKS, M. Biocultural diversity: moving beyond the realm of 'indigenous' and 'local' people. **Human Ecology**, v. 34, n. 2, p. 185-200, 2006.
- CUNHA, A. F. *et al.* **Queimadas na Amazônia em tempos de COVID-19**. Santarém, PA: UFOPA, 2020. 31 p.
- EDWARDS, D. P. *et al.* Conservation of tropical forests in the anthropocene. **Current Biology**, v. 29, n. 19, p. R1008-R1020, 2019.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. **Código florestal: adequação ambiental da paisagem rural**. 2022.
- FAZENDA, Ivani Catarina Arantes. **Pesquisa em educação e as transformações do conhecimento (a)**. [S.l.]: Papirus Editora, 1995.
- FERREIRA, J. *et al.* **Degradação florestal na Amazônia: como ultrapassar os limites conceituais, científicos e técnicos para mudar esse cenário**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental. 2015. (Documentos, 413).
- FOLEY, J. *et al.* Amazonia revealed: forest degradation and loss of ecosystem goods and services in the Amazon Basin. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 5, n. 1, p. 25-32, 2007.
- FONSECA, M. G. *et al.* Effects of climate and land-use change scenarios on fire probability during the 21st century in the Brazilian Amazon. **Glob Change Biol**. 00:1–16, 2019.
- GARRETT, R. *et al.* Forests and sustainable development in the Brazilian Amazon: history, trends, and future prospects. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 46, p. 625-652, 2021.

GARDNER, T. A. *et al.* A social and ecological assessment of tropical land uses at multiple scales: the Sustainable Amazon Network. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 368, n. 1619, p. 20120166, 2013.

GEIST, H. J.; LAMBIN, E. F. Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation: tropical forests are disappearing as the result of many pressures, both local and regional, acting in various combinations in different geographical locations. **BioScience**, v. 52, n. 2, p. 143-150, 2002.

GRISCOM, B. W. *et al.* Natural climate solutions. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 114, n. 44, p. 11645-11650, 2017.

HANSPACH, J. *et al.* Biocultural approaches to sustainability: A systematic review of the scientific literature. **People and Nature**, 2020.

HOLL, K. D.; AIDE, T. M. When and where to actively restore ecosystems? **Forest ecology and management**, v. 261, n. 10, p. 1558-1563, 2011.

HOLL, K. D. Research directions in tropical forest restoration. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, v. 102, n. 2, p. 237-250, 2017.

ICMBIO - INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Plano de Manejo da Reserva Extrativista Tapajós-Arapuins – Volume 2: Planejamento**. ICMBio, Santarém: 56 p, 2014.

INTERGOVERNMENTAL SCIENCE-POLICY PLATFORM ON BIODIVERSITY AND ECOSYSTEM SERVICES - IPBES. **Global assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services**. UN-IPBES, 2019.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, IPCC AR5 Synthesis Report, 2014.

JIMÉNEZ-MUÑOZ, J. C. *et al.* Record-breaking warming and extreme drought in the Amazon rainforest during the course of El Niño 2015–2016. **Scientific reports**, v. 6, n. 1, p. 1-7, 2016.

KLEIN, J. T. *Interdisciplinarity history, theory, and practice*. [s.l.] Detroit, Mich. Wayne State Univ. Press, 2001.

KRUID, S. *et al.* Beyond Deforestation: Carbon Emissions From Land Grabbing and Forest Degradation in the Brazilian Amazon. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 4, 2021.

KURASHIMA, N. *et al.* I ka wā ma mua: the value of a historical ecology approach to ecological restoration in Hawai‘i. **Pacific Science**, v. 71, n. 4, p. 437-456, 2017.

LAMBIN, E; MEYFROIDT, P. Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. **Proceedings of the national academy of sciences**, v. 108, n. 9, p. 3465-3472, 2011.

- LAPOLA, D. *et al.* The drivers and impacts of Amazon forest degradation. **Science**, v. 379, n. 6630, p. eabp8622, 2023.
- LEVIS, C. *et al.* How People Domesticated Amazonian Forests. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 5, 17 jan. 2018.
- LYVER, P. *et al.* Building biocultural approaches into Aotearoa-New Zealand's conservation future. **Journal of the Royal Society of New Zealand**, v. 49, n. 3, p.394-411, 2019.
- MANTYKA-PRINGLE, C. S. *et al.* Bridging science and traditional knowledge to assess cumulative impacts of stressors on ecosystem health. **Environment international**, v. 102, p. 125-137, 2017.
- MARENGO, J. A.; SOUZA J.R.C. **Mudanças Climáticas: impactos e cenários para a Amazônia.**
- MARTINS, S. V. Restauração florestal. Universidade Federal de Viçosa, Pró-Reitoria de Extensão e Cultura Divisão de Extensão, 2020. **Boletim de Extensão n. 67.**
- MERÇON, J. *et al.* From local landscapes to international policy: contributions of the biocultural paradigm to global sustainability. **Global Sustainability**, v. 2, p. e7, 2019.
- MATRICARDI, E. *et al.* Long-term forest degradation surpasses deforestation in the Brazilian Amazon. **Science**, v. 369, n. 6509, p. 1378-1382, 2020.
- NEPSTAD, D.; MOREIRA, A.; ALENCAR, A. **A floresta em chamas: origens, impactos e prevenção de fogo na Amazônia. Programa Piloto para a Proteção das Florestas Tropicais do Brasil.** Brasília, 1999. [s.l: s.n.].
- FERREIRA NETO, H. G.; PEREIRA, C. A.; ALMEIDA, E. N. Dinâmica da Produção de Alimentos na Região de Santarém, Oeste Pará. **Revista Terceira Margem Amazônia**, v. 4, n. 12, p 47-66, Jan/Jun, 2019.
- NOBRE, A. D. **O futuro climático da Amazônia. Relatório de Avaliação Científica.** São José dos Campos, São Paulo, 2014.
- PARROTTA, J. A. *et al.* **Understanding relationships between biodiversity, carbon, forests and people: the key to achieving REDD+ objectives.** IUFRO (International Union of Forestry Research Organizations) Secretariat, 2012.
- PEREIRA, C.A. *et al.* Restoring fire-degraded social forests via biocultural approaches: a key strategy to safeguard the Amazon legacy. **Restoration Ecology**, v. 31, n. 8, Nov 2023.
- PERES, C. A. Ground fires as agents of mortality in a Central Amazonian forest. **Journal of Tropical Ecology**, v. 15, n. 4, p. 535–541, jul. 1999.
- PERES, C.A.; BARLOW, J; HAUGAASEN, T. Vertebrate responses to surface wildfires in a central Amazonian forest. **Oryx**, v. 37:, p. 1077-109, 2003.
- PHILLIPS, O. L. *et al.* Drought–mortality relationships for tropical forests. **New Phytologist**, v. 187, n. 3, p. 631-646, 2010.

PHILIPPI JÚNIOR, A. Interdisciplinaridade como atributo da C&T. In: PHILIPPI JÚNIOR, A.; TUCCI, C. E. M., NAVEGANTES, D. J. R. **Interdisciplinaridade em ciências ambientais**. [S.l.]. Signus Editora, 2000.

POORTER, L. *et al.* Biomass resilience of Neotropical secondary forests. **Nature**, v. 530, n. 7589, p. 211–214, fev. 2016.

PORTER-BOLLAND, S. *et al.* Community managed forests and forest protected areas: An assessment of their conservation effectiveness across the tropics. **Forest Ecology and Management**, v. 268, p. 6-17, 2011.

PORTO-GONÇALVES, C. W.; LEFF, E. Political ecology in Latin America: the social re-appropriation of nature, the reinvention of territories and the construction of an environmental rationality. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 35, n. 1, p. 65-88, 2015.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Decreto Nº 1775** de 8 de janeiro de 1996. Dispõe sobre o procedimento administrativo de demarcação das terras indígenas e dá outras providências. Brasília,DF, 1996.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Lei Nº 6.001**, de 19 de dezembro de 1973. Dispõe sobre o Estatuto do Índio. Brasília,DF, 1973.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Lei Nº 9.985** de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasília,DF, 2000.

PROJETO SAÚDE E ALEGRIA. **Almanaque da reserva extrativista Tapajós-Arapuiuns. Prazer em conhecer**. Santarém: CEAPS-Projeto Saúde e Alegria, 2015.

RYLANDS, A. B. *et al.* Amazonia. In: MITTERMEIER, R.A. *et al.* (eds.). **Wilderness: earth's last wild places**. México: CEMEX, Agrupación Serra Madre, S.C., 2002. p. 56-107.

SCHEPER, A. C. *et al.* Post-fire forest restoration in the humid tropics: A synthesis of available strategies and knowledge gaps for effective restoration. **Science of the Total Environment**, v. 771, p. 144647, 2021.

SILVA, C. V. J. *et al.* Drought-induced Amazonian wildfires instigate a decadal-scale disruption of forest carbon dynamics. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 373, n. 1760, p. 20180043, 8 out. 2018.

SILVA, J. M. C. *et al.* Minimum costs to conserve 80% of the Brazilian Amazon. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 20, n. 3, p. 216-222. 2022.

SILVA-JUNIOR, C. H. L. *et al.* Brazilian Amazon indigenous territories under deforestation pressure. **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, p. 5851, 2023.

SOLAR, R. R. C. *et al.* How pervasive is biotic homogenization in human-modified tropical forest landscapes? **Ecology Letters**, v. 18, n. 10, p. 1108-1118, 2015.

SPÍNOLA, J. N. *et al.* A shared perspective on managing Amazonian sustainable-use reserves in an era of megafires. **Journal of Applied Ecology**, v. 57, n. 11, p. 2132-2138, 2020.

THE NATURE CONSERVANCY - TNC. **Cartilha de restauração florestal de áreas de preservação permanente**, Alto Teles Pires, MT. Ilustrada, 2015. 62 p.

THE NATURE CONSERVANCY - TNC. Tapajós 3D – **Desenvolvimento, Meio Ambiente e Bem-Estar Humano na Bacia do Tapajós**: Atlas Ilustrado, 2018. 110 p.

TOLEDO, P. M. *et al.* Development paradigms contributing to the transformation of the Brazilian Amazon: do people matter? **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 26, p. 77-83, 2017.

TOLEDO, V. M.; BARRERA-BASSOLS, N. **La memoria biocultural: la importancia ecológica de las sabidurías tradicionales**. [S. l.]: Icaria editorial, 2009. 212p.

VERÍSSIMO, A. *et al.* **Áreas protegidas na Amazônia brasileira: avanços e desafios**. Belém/São Paulo: Imazon; ISA, 2011. 88p.

VIEIRA, J. E. G.; MORAIS, R. P. A interdisciplinaridade na abordagem das questões ambientais. **Comunicação & Informação**, v. 6, n. 2, p. 31-47, 2003.

VIEIRA, I. C. G. Teoria ecológica e a interdisciplinaridade em questões ambientais. *In*: VIEIRA, I. C. G.; TOLEDO, P. M. de.; SANTOS JR, R. A. O. (orgs.). **Ambiente e sociedade na Amazônia: uma abordagem interdisciplinar**. Rio de Janeiro: Garamond, 2014. p. 125-147.

VIEIRA, I. C. G.; TOLEDO, P. M.; HIGUCHI, H. A Amazônia no antropoceno. **Ciência e cultura**, v. 70, n. 1, p. 56-59, 2018.

WALKER, W. S. *et al.* The role of forest conversion, degradation, and disturbance in the carbon dynamics of Amazon indigenous territories and protected areas. **PNAS**, v. 117, n. 6, p. 3015–3025, February 11, 2020.

WALKER, W. S. *et al.* The role of forest conversion, degradation, and disturbance in the carbon dynamics of Amazon indigenous territories and protected areas. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 117, n. 6, p. 3015-3025, 2020.

WITHEY, K. *et al.* Quantifying immediate carbon emissions from El Niño-mediated wildfires in humid tropical forests. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 373, n. 1760, p. 20170312, 2018.

CODIGO - Parentesco: 1=esposa; 2=filho(a); 3=cunhado(a); 4=neto(a); 5=mãe/pai; 6=sogro(a); 7=irmão/irmã; 8=genro/nora; 9=tio/tia; 10=sobrinho(a); 11=padrasto/madrasta; 12=afilhado(a); 13=concunhado/(a); 14=primo(a); 15filho(a) de criação;16 = avó/avô, 17= não relacionado.

005. **Onde você nasceu? Cidade:** _____ **Estado:** _____ Urbano
Rural Nome da Comunidade: _____.

006. Desde que ano vive na comunidade? _____.

MÓDULO II - BEM-ESTAR

007. *Tipo de domicílio:* Casa Outro: _____

008. **Residência é:**

Próprio –já pago Próprio – ainda pagando: R\$ /mês _____

Alugado: \$R/mês _____ Cedido

Outra condição _____

008. a) Como a casa foi adquirida?

recursos próprios doada pelo governo, explique: _____

financiada explique: _____

Outro: _____

009. *Observe: Qual o material utilizado na construção das paredes?*

Alvenaria Mista alvenaria/madeira Madeira Outro _____

010. *Observe: Qual o material utilizado na construção do telhado?*

Palha Brasilit Zinco Telhas Outro _____

011. Este domicílio tem energia elétrica?

NÃO SIM – rede SIM – motor de luz próprio Outro _____

011. a) A instalação da energia elétrica foi por:

iniciativa/ recursos próprios iniciativa/ recursos públicos
 iniciativa de ONG: Qual? _____. Outro: _____

012. Vocês têm água encanada neste domicílio? NÃO SIM

012. a) A instalação da água encanada foi por:

iniciativa/ recursos próprios iniciativa/ recursos públicos
 iniciativa de ONG: Qual? _____. Outro: _____.

013. Como a água chega em sua casa?

Bomba Roda d'água Microsistema Poço Rio/igarapé
 Outro _____

014. Nos últimos 30 dias quantas vezes faltou água em casa? |__|__|

015. Por quanto tempo faltou água? |__|__| horas dias semanas

016. Como vocês tratam a água para beber?

Nada Hipoclorito Usa filtro Compram água mineral
 Outro: _____

017. Para onde vai o esgoto da casa? não tem nenhum tipo de coleta e tratamento de esgoto

sumidouro fossa negra fossa séptica
 outro: _____.

018. Vocês têm um sistema de fossa em casa?

SIM – fossa séptica/ SIM – fossa negra / NÃO tem

019. Qual é o destino do lixo da casa?

Prefeitura vem pegar Queima Enterra

Outro: _____.

020. Fazem algum tipo de separação do lixo? Sim Não

021. Se fazem, o que fazem com cada tipo de lixo?

Tipo 01: _____ O que fazem? _____

Tipo 02: _____ O que fazem? _____

Tipo 03: _____ O que fazem? _____

Tipo 04: _____ O que fazem? _____

022. Quais são os bens deste domicílio?

Item	Quant	Detalhes
Fogão a gás		<input type="checkbox"/> 2 bocas <input type="checkbox"/> 4 bocas <input type="checkbox"/> 6 bocas
Freezer		
Geladeira		
Máquina de lavar roupas		<input type="checkbox"/> Máquina <input type="checkbox"/> Tanquinho
Rádio		
Aparelho de som		
Computador		<input type="checkbox"/> Com internet <input type="checkbox"/> Sem internet

Televisão		
DVD		
Antena parabólica		<input type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Com Sky
Telefone (fixo)		
Telefone (cel.)		
Carro		<input type="checkbox"/> Comum <input type="checkbox"/> Caminhonete Ano: _____
Moto		Modelo: _____ Ano: _____
Bicicleta		
Espingarda		
Rede de Pesca		
Barco		
Canoa		
Carroça		
Outros:		

023. Vocês têm outros imóveis ou bens na cidade?

NÃO SIM, quais?

Casa urbana UF: _____ Município: _____

Terreno urbano UF: _____ Município: _____ Tamanho: _____

Comércio UF: _____ Município: _____ Tipo: _____

024. **Como é o seu acesso a saúde?**

Público Particular Plano de saúde, qual: _____ Outros: _____

025. **Tem posto de saúde na comunidade?**

Sim Não

026. **Se não, onde fica o posto de saúde mais próximo?**

Tempo de viagem: |__|__| Horas.

027. **Em caso de emergência, como são socorrido?**

Ambulância Helicóptero

Outro: _____. Qual o tempo de espera? _____.

028. **Vocês receberam visita de agente de saúde na casa nos últimos 12 meses?**

SIM NÃO

Qual a frequência da visita? |__|__| vezes por semana mês ano

029. **Aconteceu um caso de doenças em casa nos últimos 12 meses?** NÃO

Malária Quantas pessoas? _____

Dengue Quantas pessoas? _____

Diarreia Quantas pessoas? _____

Outra doença: _____ Pessoas? _____.

OUTRAS ATIVIDADES NA COMUNIDADE /ALDEIA

Alguém do domicílio frequenta:

030. Uma igreja aqui (*pelo menos 1 vez por mês*)? SIM NÃO

031. Festas culturais ou religiosas aqui (*pelo menos 1 vez por ano*)? SIM NÃO

032. Participa de time ou esporte aqui (*pelo menos 1 vez por mês*)? SIM NÃO

033. É filiado a um partido político? SIM NÃO
034. É filiado a uma organização/ movimento social aqui?..... SIM NÃO
035. Se sim, qual tipo (por ex. grupo de mulheres, jovens, associação, sindicato, cooperativa)?

036. Realizam alguma comunidade coletiva na comunidade?..... SIM NÃO
037. Se sim, quais são as atividades? _____

ACESSO À CIDADE

038. Como vocês vão da propriedade para a cidade?

- | | Tempo (inverno) | | Tempo (verão) |
|---|---|----|---|
| <input type="checkbox"/> Transporte 1 (p. ex., a pé): _____ | __ __ <input type="checkbox"/> min
<input type="checkbox"/> h | ou | __ __ <input type="checkbox"/> min ou <input type="checkbox"/> h |
| <input type="checkbox"/> Transporte 2: _____ | __ __ <input type="checkbox"/> min
<input type="checkbox"/> h | ou | __ __ <input type="checkbox"/> min ou <input type="checkbox"/> h |
| <input type="checkbox"/> Transporte 3: _____ | __ __ <input type="checkbox"/> min
<input type="checkbox"/> h | ou | __ __ <input type="checkbox"/> min ou <input type="checkbox"/> h |

Caso utilize mais de um transporte explique _____

039. Quantas vezes por mês ou ano vocês vão (pelo menos 1 pessoa da casa) para a cidade?

030. Qual cidade?

SATISFAÇÃO

041. Qual é a sua avaliação para os aspectos a seguir:

1 = ruim, 2 = regular/ mais-ou-menos, 3 = bom

Acesso a serviços de saúde de qualidade. |__|
Acesso às escolas de qualidade |__|

Acesso à água. |__|

Atividades culturais e esportivas |__|

Acesso a transporte |__|

Segurança |__|

Relação com vizinho |__|

Vida em geral |__|

Oportunidades para trabalhar na cidade.
|__|

042. Você sairia da comunidade e se mudaria para outra região?

SIM / NÃO/

Para Onde? _____.

MODULO III – TRABALHO E RENDA

043. Vocês recebem ajuda de alguém que mora fora da propriedade?

NÃO SIM: preencher a tabela

Nome	Localidade onde trabalha (Escreve)	(R)ural ou (U)rbano	Emprego (ou aposentadoria etc)	Carteira assinada ? (S/N)	Contribuição por mês R\$ ou mercadoria etc.

044. Alguém que mora na casa exerce atividade remunerada?

NÃO SIM preencher a tabela

Nome	Localidade onde trabalha dentro ou fora da propriedade (Escreve)	(R)ural ou (U)rmano	Atividade	E)mprego ou (D)iária ou (E)mpreita	Carteira assinada ? (S/N)	Meses por ano em que trabalha (numero)	Ganho médio mensal R\$

045. Vocês recebem alguma ajuda financeira do governo neste domicílio?

NÃO SIM: preencher

Bolsa Família Quantas mães? /___/ R\$/mês total _____

Aposentadoria (idade) Quantas pessoas? /___/ R\$/mês total _____

Aposentadoria (deficiência) Quantas pessoas? /___/ R\$/mês total _____

Aposentadoria (de borracha) Quantas pessoas? /___/ R\$/mês total _____

Seguro de defeso de pescador Quantas pessoas? /___/ R\$/mês total _____

Quais meses: _____

Seguro de desemprego Quantas pessoas? /___/ R\$/mês total _____

Período: _____

Outro (p.e. pensão) Quantas pessoas? /___/ R\$/mês total _____

046. **Você tem outra(s) fonte da renda além de sua produção agrícola** (no sentido amplo agricultura, pesca e produtos da floresta) e das fontes citadas acima

NÃO SIM :

Atividade 01: _____ Rendimento por mês: _____.

Atividade 02: _____ Rendimento por mês: _____.

Atividade 03: _____ Rendimento por mês: _____.

047. **Quais atividades agrícolas, extrativistas, pesca, artesanato ou caça compõem a renda da casa no último ano?** (*produtos que são vendidos*)

Produto (<i>Listar aqui produtos da agricultura, caça, pesca, extrativismo</i>)	Quantidade vendida (ano) (<i>especificar ao lado unidade de medida</i>)	Valor aproximado (R\$) (<i>tentar calcular caso o entrevistado não lembre valor total</i>)

MODULO IV – ATIVIDADES PRODUTIVAS

048. **Quais atividades você realiza na comunidade e na mata?**

- Fazem roça Coletam produtos da floresta Caçam Pescam criam pequenos animais
 criam gado Outra: _____

049. Em quais atividades há o uso do fogo **na comunidade?**

- limpeza de roça/agricultura limpeza de pasto queima de lixo cozinhar

caçar

(explique

como:

_____)

 outros: _____.

050. Qual a quantidade produzida/coletada atualmente? (usar como ano base 2018).

Atividade	Produto	Quantidade produzida em 2018/ Unidade de medida	Quantidade produzida em 2013 (cinco anos atrás)/ Unidade de medida	Por quê? (Justifique a resposta dada para produção de 2013)	Previsão de produção em 2023 – daqui 5 anos - (+ que em 2018; - que em 2018; = 2018)	Por quê? Justifique a resposta dada para 2023
Agricultura	Banana					
	Milho					
	Mandioca /maniva					
	Feijão					
	Arroz					
	Galinha					
Extrativismo	Uxi					
	Titipi					
	Preciosa					
	Castanha					
	Piquiá					
	Bacaba					

	<i>Palha</i>					
	<i>Cupuaçu (nativo)</i>					
	<i>Cipó</i>					
Caça	<i>Tatu</i>					
	<i>Paca</i>					
	<i>Jaboti</i>					
	<i>Cotia</i>					
	<i>Macaco</i>					
	<i>Anta</i>					
Pescaria	<i>Charuto</i>					
	<i>Pescada</i>					
	<i>Jaraqui</i>					
	<i>Pirarucu</i>					
Outros em geral						

051. Como estavam essas atividades há 5 anos atrás?

051.a) Produziam mais, menos ou igual? 051.b) Por qual motivo? Por quê?

052. Como acham que estarão essas atividades daqui a 5 anos? Vocês tem planos para essas atividades para daqui 5 anos?

052.a) Produziam: mais, menos ou igual?

052.b) Por qual motivo? Por quê?

MODULO V – Percepção sobre fogo e degradação

054. Há problemas com incêndios Florestais?

Sim Não

055. Quais as principais causas de fogo/ incêndio na mata?

Limpeza de área para roça limpeza de pasto

fogo usado na caça (qual? _____)

queima de lixo não sabe outro: _____.

056. Você usa o fogo pra alguma atividade? Sim Não

057. Para quais atividades você usa do fogo?

- preparo de área para roça limpeza de pasto queima de lixo cozinhar
- caçar (explique como: _____)
- outros: _____.

058. Com que frequência usa o fogo para o preparo de roça? De quanto em quanto tempo? *(pode marcar mais que uma opção)*

- sempre que vai fazer roça uma vez ao ano duas vezes ao ano outro: especificar
(check a frequência de implante de roça) _____

059. Com que frequência usa o fogo para limpeza de pasto? De quanto em quanto tempo? *(pode marcar mais que uma opção)*

- sempre que vai fazer um novo pasto uma vez ao ano duas vezes ao ano outro:
especificar *(check a frequência de implante de pasto)* _____.

060. Onde implantam a roça?

- na floresta / mata bruta na capoeira nas duas (explique):

061. Você já participou de alguma capacitação/curso sobre uso de fogo? Sim Não

062. Se sim, Qual e quem organizou?

063. Você tem ou teve alguma cartilha ou material sobre uso do fogo? Sim Não

064. Se sim, quem doou e de qual instituição é o material?

_____.

065. Você pede licença/autorização para o ICMBio? Sim Não

066. Se sim, que tipo de autorização? _____.

067. Tem algum acordo/regra de uso do fogo na comunidade? Sim Não

068. Se sim, explique o acordo: _____.

069. Tomam algum cuidado no momento de usar o fogo para limpar a área de roça?

Sim Não

070. Quais cuidados você toma? (*pode marcar mais que um opção*)

- Faz aceiro. Largura? _____ Faz varrida na mata
 Usa contra fogo Avisa os vizinhos Faz mutirão queima contra o vento
 uso de herbicidas para eliminação da vegetação limpeza de sub-bosque
 Outros: _____

071. Qual horário geralmente você toca fogo? _____

072. Quais ferramentas e equipamentos usam no momento de colocar fogo?

- Enxada facão foice fósforo/isqueiro gasolina
 abafador pulverizador com água outro: _____.

072. Geralmente, que mês você queima a área para fazer roça? Explique porque.

074. Você conhece ou já ouviu falar de alguma outra forma de preparo de área para a roça que não seja o fogo? Sim Não

075. Se sim, quais?

076. O que aconteceria se você parasse de usar fogo no preparo da roça?

077. Quais são para os efeitos positivos do uso do fogo para a agricultura / queimada? (pode marcar mais de uma)

- facilidade de limpeza de roça redução de mão de obra
- redução de tempo na limpeza de áreas reforma do pasto
- outro (especifique): _____.

078. Que aspectos negativos aparecem depois das queimadas (ver com Ima de é o fogo no preparo de área ou dos incêndios)? (pode marcar mais de uma)

- desaparecimento da flora silvestre desaparecimento da fauna silvestre
- destruição da floresta degradação do solo aumento dos poluentes do ar
- aparecimento de doenças respiratórias aumento de poluentes no ar
- outro (especifique): _____.

079. Quais as formas de prevenção de incêndios nas florestas que conhece?

- Faz aceiro Faz varrida na mata Usa contra fogo

Códigos 01: 01 – Floresta primária; 02 – Floresta Explorada; 03 – Capoeira; 04 – Plantações; 05 – Pasto; 06 – Outro (especificar).

Códigos 02: 01 – da comunidade; 02 – de outra comunidade; 03 – não sabe; 04 – Outro (especificar).

Códigos 03: 01 – Combateram na comunidade; 02 – Apagou sozinho; 03 – apagou com a chegada do inverno; 04 – Outro (especificar).

Códigos 04: 01 – preparo de roça; 02 – limpeza de pasto; 03 – atividade de caçadores; 04 – criminoso (explicar)_____. 05 – Outro (especificar).

081. O fogo anda escapando e entrando na mata? Sim Não

082. Porque você acha que o fogo está entrando na mata?

083. De onde vem o fogo que entra na mata?

084. Tem alguma forma de evitar que o fogo entre na mata? Sim Não

085. Se sim, quais são as formas?

086. Quando o fogo entra na mata, entra quanto mais ou menos? (anotar a quantidade em km ou hectares se possível)

087. Algo mudou na sua vida e da sua família, na comunidade depois que o fogo entrou na mata? Sim Não

088. Se sim, o que mudou?

089. O que você acha / qual a sua visão da entrada do fogo na mata (incêndio)?

090. Seria isso um problema ou não? Porque?

091. O que você acha que deve ser feito perante o problema do incêndio?

092. Você faz alguma coisa diante desse problema (só aplicar se perceber para ele um problema)? Sim Não

093. Se sim, o que?

094. Haverá ou há mudança de comportamento no uso do fogo?/ Você toma mais cuidado depois que o fogo escapa? Sim Não

095. Se sim, o que?

096. E agora, em sua opinião, o que tem que ser feito com a área de mata que pegou fogo?

097. Você tem notado mudanças na mata queimada nos últimos anos? Sim Não

098. Se sim, quais?

099. O que acham que deve ser feito com a mata que queimou?

100. Sobre a mata que queimou, dá pra voltar o que era antes ou parecido?

Sim Não

101. Vocês ajudam a mata a se recuperar de alguma forma ? Sim Não

102. Se sim, como?

103. Como você acha que a floresta se recuperaria mais rápido após ser queimada?

104. Olhando pra uma mata, dá pra saber se já pegou fogo? Sim Não

105. Se sim, como você sabe?

106. Olhando pra mata, você sabe se é mais fácil ou difícil pegar fogo? Sim Não

107. Porque é fácil pegar fogo?

108. Porque é difícil?

109. Você acha que está queimando mais ou menos ultimamente? mais menos

110. Porque você acha?

111. Dá pra saber o ano que vai queimar mais ou menos? Sim Não

112. Se sim, como/porque?

113. Qual é a importância da floresta para você?

- Sombra Combustível (Lenha/carvão) obtenção de renda familiar
 provimento de bens e serviços (madeira, turismo...) obtenção de alimento
 extração de medicamentos outra (especifique): _____.

114. Não tem receio que a floresta desapareça com o ritmo atual de exploração?

- Sim Não

115. Se sim, por quê? _____

116. O que está sendo feito que seja do seu conhecimento para a manutenção da floresta?

- reflorestamento não permitir desmatar controle de queimadas
 introdução de novas tecnologias para a agricultura outra (especifique):
_____.

117. Nesta comunidade existem áreas proibidas para corte de árvores? Sim Não

118. Se sim, explique? _____

119. Existe alguém que controla o corte de árvores? Sim Não Não sabe

120. Se sim, quem é? autoridade policial ICMBio Membros da comunidade
 outra (especifique): _____.

121. Nesta comunidade existem áreas proibidas para as queimadas? Sim Não Não sabe

122. Se sim, explique? _____

123. Existe alguém que controla as queimadas? Sim Não Não sabe

124. Se sim, quem é? autoridade policial ICMBio Membros da comunidade
 outra (especifique): _____.

125. O que é que é feito às pessoas que infringem as normas em relação ao corte de árvore?

pagamento de multas interdição de exploração do recurso (floresta)
 outra (especifique): _____.

126. O que é que é feito às pessoas que infringem as normas em relação às queimadas?

pagamento de multas interdição de exploração do recurso (floresta)
 outra (especifique): _____.

127. Como se podem reduzir o desmatamento e a degradação ambiental?

estabelecimento de florestas comunitárias
 capacitação das comunidades em matérias de produção e manejo de mudas
 facilidade na aquisição de insumos agrícolas (fertilizantes e sementes melhoradas)
 introdução de equipamentos de limpeza de roças
 sensibilização da comunidade
 outra (especifique): _____.

CACA

PARA OS DIAS ATUAIS

128. Você observou a presença dessas espécies de caça nessa propriedade (pelo menos um vestígio no último ano)?

MACACOS:	
Coatá/cuamba: <input type="checkbox"/> S / <input type="checkbox"/> N	Macaco prego: <input type="checkbox"/> S / <input type="checkbox"/> N
CAÇA GRANDE:	
Queixada: <input type="checkbox"/> S / <input type="checkbox"/> N	Catitu: <input type="checkbox"/> S / <input type="checkbox"/> N
Veado capoeiro/mateiro/vermelho: <input type="checkbox"/> S / <input type="checkbox"/> N	Veado roxo/fuboca: <input type="checkbox"/> S / <input type="checkbox"/> N
Anta: <input type="checkbox"/> S / <input type="checkbox"/> N	
OUTROS:	
Cutia: <input type="checkbox"/> S / <input type="checkbox"/> N	Paca: <input type="checkbox"/> S / <input type="checkbox"/> N
TATUS	
Tipo 1: _____	Tipo 2: _____
Tipo 3: _____	Tipo 4: _____
GATOS:	
Onça pintada: <input type="checkbox"/> S / <input type="checkbox"/> N	Onça vermelha: <input type="checkbox"/> S / <input type="checkbox"/> N
PASSAROS:	
Jacamim: <input type="checkbox"/> S / <input type="checkbox"/> N	Mutum: <input type="checkbox"/> S / <input type="checkbox"/> N
Outros: _____	Outros: _____

129. Alguém que mora em sua casa caça? SIM NÃO: *pular para 3.26*

130. Quantas pessoas da casa saem para caçar? |__|__|

131. Caçam juntos? SIM NÃO AS VEZES

132. No inverno, quantas vezes por mês vocês caçam? |__|__|vezes por mês

133. No verão, quantas vezes por mês vocês caçam? |__|__|vezes por mês

134. Onde fica o lugar mais longe onde vocês caçam?

Nome: _____

135. Distancia de domicílio: |__|__| km, Tempo de viagem daqui para lá (direto) |__|__| mins

Transporte: Pé ou _____

136. Cite as três espécies que vocês de domicilio matam mais? [*para tatu, porco ou veado, qual tipo?*]

1. _____, 2. _____, 3. _____

137. Pessoas que não moram na propriedade caçam? (*marque TODOS que se aplicam*)

NÃO, Por que: _____

SIM – Que passam tempo em casa (*p. ex. visitantes da cidade*)

SIM – Com permissão mas não ficam em casa (*p. ex. vizinhos*)

SIM – Sem permissão

138. Caso sim, pessoas que não moram na propriedade caçam aqui com qual frequência?

Mais de uma vez por semana Mais de uma vez por mês

Mais de uma vez por ano Menos de uma vez por ano

Não sabe

PARA 2014 OU ANTES

139. Você observou a presença dessas espécies de caça nessa propriedade (pelo menos um vestígio no último ano)?

MACACOS:	
Coatá/cuamba: <input type="checkbox"/> S / <input type="checkbox"/> N	Macaco prego: <input type="checkbox"/> S / <input type="checkbox"/> N
CAÇA GRANDE:	
Queixada: <input type="checkbox"/> S / <input type="checkbox"/> N	Catitu: <input type="checkbox"/> S / <input type="checkbox"/> N
Veado capoeiro/mateiro/vermelho: <input type="checkbox"/> S / <input type="checkbox"/> N	Veado roxo/fuboca: <input type="checkbox"/> S / <input type="checkbox"/> N
Anta: <input type="checkbox"/> S / <input type="checkbox"/> N	
OUTROS:	
Cutia: <input type="checkbox"/> S / <input type="checkbox"/> N	Paca: <input type="checkbox"/> S / <input type="checkbox"/> N
TATUS	
Tipo 1: _____	Tipo 2: _____
Tipo 3: _____	Tipo 4: _____
GATOS:	
Onça pintada: <input type="checkbox"/> S / <input type="checkbox"/> N	Onça vermelha: <input type="checkbox"/> S / <input type="checkbox"/> N
PASSAROS:	
Jacamim: <input type="checkbox"/> S / <input type="checkbox"/> N	Mutum: <input type="checkbox"/> S / <input type="checkbox"/> N
Outros: _____	Outros: _____

140. Alguém que mora em sua casa caça? SIM NÃO: *pular para 3.26*

141. Quantas pessoas da casa saem para caçar? |_|_|

142. Caçam juntos? SIM NÃO AS VEZES

143. No inverno, quantas vezes por mês vocês caçam? |_|_| vezes por mês

144. No verão, quantas vezes por mês vocês caçam? |_|_| vezes por mês

145. Onde fica o lugar mais longe onde vocês caçam?

Nome: _____

146. Distancia de domicílio: |_|_| km, Tempo de viagem daqui para lá (direto) |_|_| mins

Transporte: Pé ou _____

147. Cite as três espécies que vocês de domicilio matam mais? [para tatu, porco ou veado, qual tipo?]

1. _____, 2. _____, 3. _____

148. Pessoas que não moram na propriedade caçam? (*marque TODOS que se aplicam*)

NÃO, Por que: _____

SIM – Que passam tempo em casa (*p. ex. visitantes da cidade*)

SIM – Com permissão, mas não ficam em casa (*p. ex. vizinhos*)

SIM – Sem permissão

149. Caso sim, pessoas que não moram na propriedade caçam aqui com qual frequência?

Mais de uma vez por semana Mais de uma vez por mês

Mais de uma vez por ano Menos de uma vez por ano

Não sabe

150. O que acontece com a caça após o fogo?

151. Que tipo de caça voltou após o fogo?

152. O que (caça) nunca mais viram?

APÊNDICE B - CONJUNTO DE DADOS SUBMETIDO PARA ANÁLISE MULTIVARIADA. FREQUÊNCIAS CONVERTIDAS PARA PORCENTAGENS RELATIVAS A CADA COMUNIDADE.

Item	Muratuba_sim	Muratuba_não	Mirixituba_sim	Mirixituba_nã o	Jaca_sim	Jaca_não
1	0.92	0.08	1.0	0.0	1.0	0.0
2	0.20	0.80	0.4	0.6	0.2	0.8
3	0.20	0.80	0.4	0.6	0.2	0.8
4	0.56	0.44	1.0	0.0	1.0	0.0
5	0.88	0.12	0.8	0.2	0.6	0.4
6	0.76	0.24	0.4	0.6	1.0	0.0
7	0.20	0.80	0.6	0.4	0.2	0.8
8	0.80	0.20	1.0	0.0	1.0	0.0
9	0.80	0.20	1.0	0.0	1.0	0.0
10	0.92	0.08	1.0	0.0	1.0	0.0
11	0.92	0.08	1.0	0.0	0.8	0.2
12	0.68	0.32	0.6	0.4	1.0	0.0
13	0.40	0.60	0.0	1.0	0.2	0.8
14	1.00	0.00	1.0	0.0	1.0	0.0
15	0.96	0.04	0.8	0.2	1.0	0.0
16	0.88	0.12	1.0	0.0	1.0	0.0
17	0.80	0.20	0.6	0.4	1.0	0.0
18	1.00	0.00	1.0	0.0	1.0	0.0
19	0.56	0.44	0.6	0.4	0.6	0.4
20	0.32	0.68	0.4	0.6	1.0	0.0
21	0.44	0.56	0.2	0.8	0.2	0.8
22	0.84	0.16	0.6	0.4	0.6	0.4
23	0.88	0.12	1.0	0.0	0.6	0.4
24	0.28	0.72	0.4	0.6	0.2	0.8
25	0.80	0.20	1.0	0.0	1.0	0.0
26	0.76	0.24	0.8	0.2	0.6	0.4
27	0.36	0.64	0.2	0.8	0.0	1.0
28	0.52	0.48	0.0	1.0	0.2	0.8
29	0.36	0.64	0.6	0.4	0.4	0.6
30	0.92	0.08	0.6	0.4	0.8	0.2

31	0.88	0.12	1.0	0.0	1.0	0.0
32	0.00	1.00	0.0	1.0	0.0	1.0

APÊNDICE C - RESULTADOS DA ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS MODELOS MISTOS LINEARES GENERALIZADOS PARA BIOMASSA (AGB), ÁREA BASAL (BA), ÍNDICE DE GINI (GINI), DIÂMETRO MÁXIMO (DBH) E DENSIDADE DE INDIVÍDUOS

Predictors	(AGB_Mgha.corrected)			log(plot_BA_m2_ha)			plot_Gini			log(mean.Height)			log(plot_stem.dens_ha)		
	Estimates	CI	p	Estimates	CI	p	Estimates	CI	p	Estimates	CI	p	Estimates	CI	p
(Intercept)	28.87	23.17 – 34.58	<0.001	0.54	0.18 – 0.90	0.003	0.29	0.25 – 0.32	<0.001	2.86	2.77 – 2.95	<0.001	3.71	3.47 – 3.94	<0.001
Tratamento [Q1]	-12.74	-19.65 – -5.83	<0.001	-0.49	-0.90 – -0.08	0.018	-0.02	-0.06 – 0.02	0.342	-0.09	-0.18 – 0.00	0.063	-0.41	-0.66 – -0.16	0.002
Tratamento [Q2]	-21.32	-28.13 – -14.51	<0.001	-1.17	-1.58 – -0.76	<0.001	-0.05	-0.09 – -0.01	0.023	-0.15	-0.25 – -0.06	0.002	-0.96	-1.22 – -0.70	<0.001
Estrato [Estrato 2]	-28.33	-39.85 – -16.81	<0.001	-1.88	-2.55 – -1.22	<0.001	-0.06	-0.13 – 0.01	0.096	-1.13	-1.28 – -0.98	<0.001	1.29	0.88 – 1.70	<0.001
Tratamento [Q1] * Estrato [Estrato 2]	12.78	-1.34 – 26.89	0.076	0.49	-0.38 – 1.35	0.267	0.02	-0.07 – 0.11	0.690	0.02	-0.17 – 0.22	0.818	0.50	-0.00 – 1.01	0.051
Tratamento [Q2] * Estrato [Estrato 2]	20.72	6.94 – 34.50	0.003	1.06	0.27 – 1.86	0.009	0.04	-0.05 – 0.13	0.361	0.01	-0.17 – 0.19	0.919	1.03	0.54 – 1.52	<0.001
Random Effects															
σ^2	236.36			0.78			0.01			0.04			0.30		
τ_{00}	1.60	site		0.02	site		0.00	site		0.00	site		0.02	site	
ICC	0.01			0.03						0.06			0.05		
N	4	site		4	site		4	site		4	site		4	site	
Observations	207			199			190			199			207		
Marginal R ² / Conditional R ²	0.262 / 0.267			0.344 / 0.364			0.055 / NA			0.835 / 0.845			0.709 / 0.724		

APÊNDICE D - RESULTADOS DA ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS MODELOS MISTOS LINEARES GENERALIZADOS PARA RIQUEZA EM ESPÉCIES (HILL0), DIVERSIDADE (HILL1 HILL2).

<i>Predictors</i>	<i>log(hillq0_bc)</i>			<i>(hillq2_bc)</i>			<i>hillq1_bc</i>		
	<i>Estimates</i>	<i>CI</i>	<i>p</i>	<i>Estimates</i>	<i>CI</i>	<i>p</i>	<i>Estimates</i>	<i>CI</i>	<i>p</i>
(Intercept)	2.67	2.38 – 2.96	<0.001				12.93	10.52 – 15.34	<0.001
Tratamento [Q1]	-0.58	-0.89 – -0.28	<0.001	8.00	6.43 – 9.57	<0.001	-4.02	-6.86 – -1.17	0.006
Tratamento [Q2]	-1.30	-1.61 – -0.99	<0.001	4.17	2.58 – 5.76	<0.001	-8.54	-11.37 – -5.71	<0.001
Estrato [Estrato 2]	0.98	0.49 – 1.48	<0.001	4.90	1.20 – 8.61	0.010	11.91	7.23 – 16.59	<0.001
Tratamento [Q1] * Estrato [Estrato 2]	0.14	-0.47 – 0.74	0.655	-5.87	-10.40 – -1.33	0.011	-8.87	-14.60 – -3.15	0.003
Tratamento [Q2] * Estrato [Estrato 2]	0.83	0.24 – 1.42	0.006	-0.39	-4.82 – 4.04	0.862	-3.06	-8.65 – 2.53	0.282
Tratamento [CONS]				11.58	9.58 – 13.57	<0.001			
Random Effects									
σ^2	0.43			24.40			38.93		
τ_{00}	0.03 _{site}			0.76 _{site}			0.67 _{site}		
ICC	0.06			0.03			0.02		
N	4 _{site}			4 _{site}			4 _{site}		
Observations	207			207			207		
Marginal R ² / Conditional R ²	0.544 / 0.571			0.282 / 0.303			0.365 / 0.376		

**APÊNDICE E – RESULTADOS DA ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS
MODELOS MISTOS LINEARES GENERALIZADOS PARA SIMILARIDADE
DE BRAY-CURTIS EM CADA ESTRATO E TRATAMENTO**

data.sim\$similarity			
<i>Predictors</i>	<i>Estimates</i>	<i>CI</i>	<i>p</i>
(Intercept)	0.18	0.16 – 0.21	<0.001
data sim\$TratamentoQ1	-0.01	-0.03 – 0.01	0.525
data sim\$TratamentoQ2	-0.04	-0.07 – -0.02	<0.001
data sim\$Estrato2	-0.04	-0.06 – -0.02	<0.001
data sim\$Estrato3	-0.10	-0.11 – -0.08	<0.001
Observations	227		
R ² / R ² adjusted	0.460 / 0.450		