

RELATÓRIO TÉCNICO ITV DS

ANÁLISE DE DISTRIBUIÇÃO DA VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITACAIÚNAS, PARÁ

Entrega nº 03: Resultado da análise de distribuição da vegetação secundária (área, idade e desmatamento) por propriedade privada e por município

RELATÓRIO FINAL DO PROJETO ANÁLISE DA CONSERVAÇÃO DA VEGETAÇÃO NATIVA EM ÁREAS PROTEGIDAS E PROPRIEDADES PRIVADAS

Sâmia Nunes

Hellen Kezia Almada

Rosane Barbosa Lopes Cavalcante

Emily Ane Dionizio

Belém / Pará

Dezembro / 2022

Título: Análise de distribuição da vegetação secundária na bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas, Pará	
PROD. TEC. ITV DS N038/2022	Revisão 00
Classificação: () Confidencial () Restrita () Uso Interno (x) Pública	

Informações Confidenciais - Informações estratégicas para o Instituto e sua Mantenedora. Seu manuseio é restrito a usuários previamente autorizados pelo Gestor da Informação.

Informações Restritas - Informação cujo conhecimento, manuseio e controle de acesso devem estar limitados a um grupo restrito de empregados que necessitam utilizá-la para exercer suas atividades profissionais.

Informações de Uso Interno - São informações destinadas à utilização interna por empregados e prestadores de serviço

Informações Públicas - Informações que podem ser distribuídas ao público externo, o que, usualmente, é feito através dos canais corporativos apropriados

Citar como

NUNES, Sâmia do Socorro Serra, *et al.* **Análise de distribuição da vegetação secundária na bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas, Pará.** Belém: 2022. (Relatório Técnico N038/2022). DOI 10.29223/PROD.TEC.ITV.DS.2022.38.Nunes

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

N972 Nunes, Sâmia do Socorro Serra
 Análise de distribuição da vegetação secundária na bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas, Pará / Sâmia do Socorro Serra Nunes ... [et al.] .--
 Belém: 2022.
 34 p. : il.

Relatório Técnico (Instituto Tecnológico Vale) – 2022
 PROD.TEC.ITV.DS – N038/2022
 DOI 10.29223/PROD.TEC.ITV.DS.2022.38.Nunes

1. Carbono - Amazônia. 2. Restauração florestal. 3. Vegetação secundária. 4. Passivo ambiental. I. Almada, Hellen Kezia. II. Cavalcante, Rosane Barbosa Lopes. III. Martins, Hernanes. IV. Título

Bibliotecário responsável: Eddie Saraiva / CRB 2 – 058P

RESUMO EXECUTIVO

O modelo econômico de uso da terra praticado na Amazônia é muito dinâmico, com vários ciclos de corte-regeneração-corte, atribuído principalmente às atividades de agropecuária na região. A vegetação que regenera após o desmatamento é chamada de vegetação secundária (VS), a qual cobre pelo menos um quarto de toda a área que já foi desmatada na Amazônia, em diversos estágios de regeneração. A VS é essencial no cenário das mudanças do clima, pois absorvem carbono em altas taxas devido seu rápido crescimento. Além disso, a VS pode mitigar a perda de biodiversidade, restaurar serviços ecossistêmicos e ser uma alternativa para o cumprimento da legislação ambiental brasileira no que diz respeito à recomposição de florestas desmatadas ilegalmente. Porém, o crescimento e perda da VS ao longo do tempo e em larga escala ainda são pouco monitorados, principalmente pelos órgãos oficiais. Entender a dinâmica temporal e a distribuição espacial da VS na Amazônia é chave para estudarmos a habilidade destas florestas em reduzir as emissões líquidas de gases do efeito estufa, além do seu papel de restaurar a biodiversidade. Este relatório é uma das entregas do projeto “Análise da conservação da vegetação nativa em áreas protegidas e propriedades privadas” do Instituto Tecnológico Vale, que apoia o compromisso da Vale de recuperar e proteger 500 mil hectares e os esforços globais de conservação da biodiversidade e mitigação das mudanças climáticas. Aqui, nós apresentamos uma avaliação da dinâmica da VS, na bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas (BHRI), localizada no sudeste do estado do Pará, no arco do desmatamento da Amazônia. Esta avaliação inclui a área total, idade e desmatamento, usando 35 anos de mapas de cobertura e uso da terra para responder às seguintes perguntas: (i) qual a extensão anual de VS por idade na bacia, por município e por tamanho de propriedade rural? (ii) Qual a taxa anual da perda de VS por idade na bacia, por município e por tamanho de propriedade rural? (iii) qual é o balanço líquido de carbono de VS baseado no ganho e perda anuais de vegetação na bacia?

RESUMO

Neste estudo realizamos o mapeamento da dinâmica da vegetação secundária (VS) por 35 anos (1986 a 2020), em uma importante bacia hidrográfica localizada no arco do desmatamento da Amazônia (bacia do rio Itacaiúnas). A metodologia adotada estima a área de VS, a idade e a perda desta vegetação ao longo do tempo. Encontramos que 11,7% da área desmatada mapeada na bacia em 2020 está sob alguma forma de regeneração, totalizando 266 mil ha neste ano. O padrão de distribuição da VS por idade, na bacia, nos municípios e entre propriedades rurais privadas é semelhante: mais da metade da VS está concentrada nos primeiros cinco anos. Também é a classe mais desmatada: 69% do desmatamento em VS em 2020 possui até 5 anos. Isso sugere que a VS mais jovem está sob alta pressão de desmatamento, por estar ainda em uso. Na análise de fluxo anual de carbono, encontramos que a bacia é um sumidouro de carbono, por apresentar um balanço líquido positivo de 4,60 T-C em 2020. O estoque de carbono armazenado na biomassa viva da vegetação secundária em 2020 corresponde a 4,7 T-C. Estas florestas possuem alto potencial de sequestro de carbono, recomposição da biodiversidade e provisão de serviços ecossistêmicos, desde que sejam protegidas contra o desmatamento.

Palavras-chave: Amazônia, carbono, passivo ambiental, restauração florestal, vegetação secundária.

ABSTRACT

In this study, we mapped the secondary vegetation (SV) dynamics over 35 years (1986 to 2020), within an important basin located in the Amazon arc of deforestation (Itacaiúnas basin). The adopted methodology estimates the SV area, age and loss of this vegetation over time. We found that 11.7% of the deforestation mapped in the basin in 2020 is under some form of regeneration, totaling 266,000 ha this year. The pattern of distribution of SV by age, in the basin, in the municipalities and among private rural properties is similar: more than half of the SV is concentrated in the first five years. It is also the most deforested class: 69% of deforestation in SV in 2020 is up to 5 years old. This suggests that the younger VS is under high pressure from deforestation, as it is still in use. In the carbon balance analysis, we found that the basin is a carbon sink, as it presented a positive net balance of 4.60 T-C. The carbon stock stored in the living biomass of secondary vegetation in 2020 corresponds to 4.7 T-C. These forests have a high potential for carbon sequestration, restoration of biodiversity and provision of ecosystem services, as long as they are protected against deforestation.

Keywords: Amazon, carbon, forest deficit, forest restoration, secondary vegetation.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 METODOLOGIA	8
2.1 Área de estudo	8
2.2 Base de dados.....	9
2.3 Mapeamento da idade e desmatamento da vegetação secundária	10
2.4 Estimativa do balanço de carbono	10
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	11
3.1 Distribuição anual da vegetação secundária na BHRI	11
3.2 Desmatamento em vegetação secundária na BHRI	17
3.3 Balanço líquido de carbono em vegetação secundária na BHRI	19
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	21
5 REFERÊNCIAS.....	22
ANEXO II.....	30

1 INTRODUÇÃO

A Amazônia já perdeu 12% (44 milhões de hectares) de sua vegetação nativa nos últimos 37 anos, principalmente pela agropecuária em propriedades rurais privadas, sendo o estado do Pará o mais crítico de desmatamento, com 35,2% de florestas convertidas em agricultura e pastagem (MAPBIOMAS, 2022). O modelo econômico de uso da terra praticado na Amazônia é muito dinâmico, com vários ciclos de corte-regeneração-corte, o que permite o crescimento de vegetação secundária (VS) em vários estágios de desenvolvimento (NELSON *et al.*, 2000; VIEIRA *et al.*, 2014). Aqui, entendemos VS como a vegetação que cresce novamente após a área ter sofrido corte raso.

Como parte deste sistema, o solo é deixado sem uso (pousio), por até 5 anos normalmente, para restaurar parte dos nutrientes (UHL, C.; BUSCHBACHER; SERRAO, 1988; ZARIN *et al.*, 2001) ou, em muitos casos, a terra é simplesmente abandonada para avançar sobre novas áreas de floresta mais maduras como redução de custos (COSTA, 2009; PERZ; SKOLE, 2003). Um estudo recente mostrou que quase metade da VS mapeada em 2017 na Amazônia, possuía até 5 anos (NUNES *et al.*, 2020). Estima-se que em 2014, quase um quarto (22%) do total de área desmatada na Amazônia estava sob alguma forma de regeneração (TERRACLASS, 2014).

A VS é essencial no cenário das mudanças do clima, pois absorvem carbono em altas taxas devido seu rápido crescimento, alcançando até 11 vezes a taxa de uma floresta primária (GRISCOM *et al.*, 2017; POORTER *et al.*, 2016). Além disso, a VS pode mitigar a perda de biodiversidade (LENNOX *et al.*, 2018), restaurar serviços ecossistêmicos (CHAZDON, 2008) e ser uma alternativa para o cumprimento da legislação ambiental brasileira no que diz respeito à recomposição de florestas desmatadas ilegalmente (NUNES *et al.*, 2016, 2019). Porém, a dinâmica temporal da VS é ainda pouco estudada e monitorada (NUNES *et al.*, 2020; SILVA JUNIOR *et al.*, 2020), o que dificulta o entendimento da habilidade destas florestas em reduzir as emissões líquidas de gases do efeito estufa e o monitoramento dos compromissos brasileiros nas convenções climáticas (COP20 – Restaurar e reflorestar 18 milhões de hectares de florestas até 2030, mantida na COP26).

Aqui, nós apresentamos uma avaliação da dinâmica da VS – aquela que regenera após o desmatamento -, na bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas (BHRI),

localizada no sudeste do estado do Pará, no arco do desmatamento da Amazônia. Esta avaliação inclui a área total, idade e desmatamento de VS, usando 35 anos de mapas de cobertura e uso da terra para responder às seguintes perguntas: (i) qual a extensão anual de VS por idade na bacia, por município e por tamanho de propriedade rural? (ii) Qual a taxa anual da perda de VS por idade na bacia, por município e por tamanho de propriedade rural? (iii) qual é o balanço líquido de carbono de VS baseado no ganho e perda anuais de vegetação na bacia?

2 METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

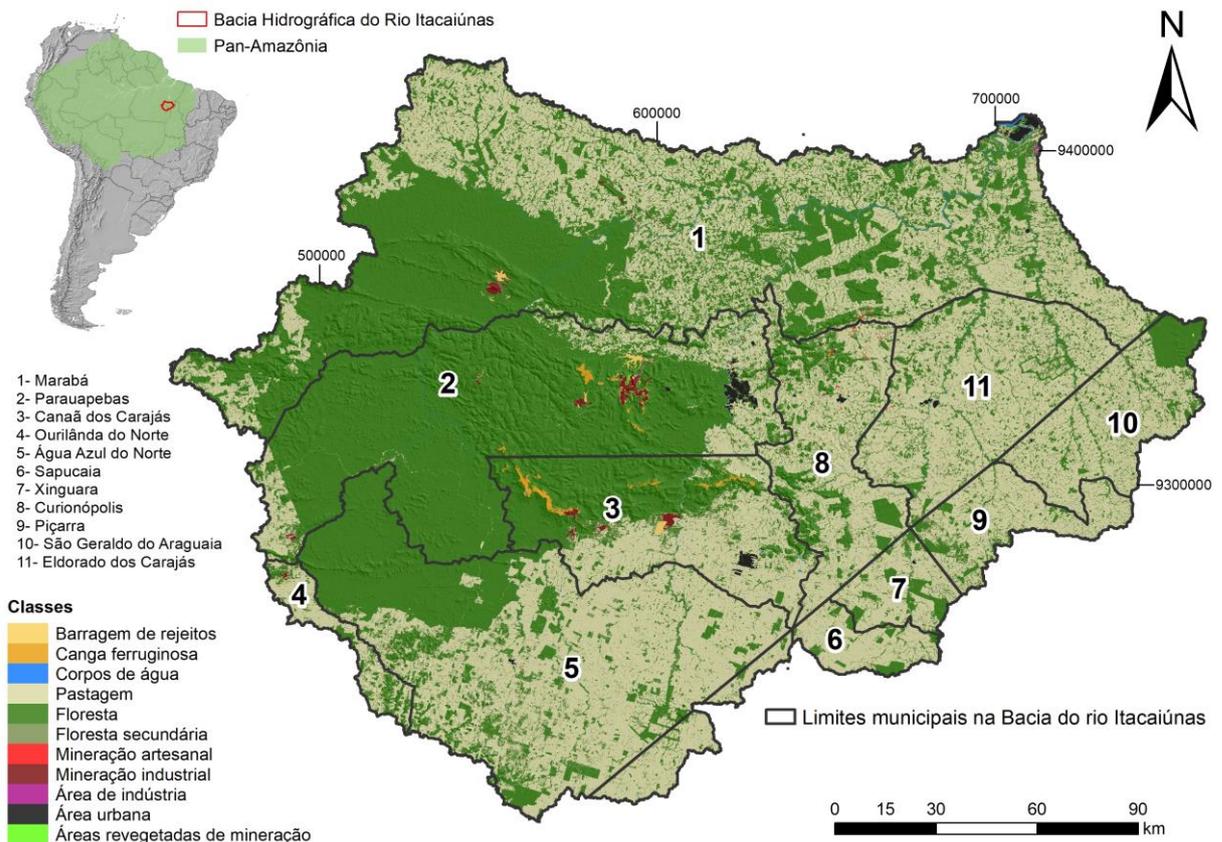
A BHRI está situada no sudeste do estado do Pará, na Amazônia Brasileira, e cobre uma área de aproximadamente 41.300 km², área equivalente de países como a Suíça e Holanda. Compreende 11 municípios: Água Azul do Norte, Canaã dos Carajás, Curionópolis, Eldorado dos Carajás, Marabá, Ourilândia do Norte, Parauapebas, Piçarra, São Geraldo do Araguaia, Sapucaia, Xinguara (Figura 1). A vegetação predominante desta região é a floresta tropical, com manchas de campos ferruginosos (canga). Grande parte da vegetação remanescente da bacia (~ 60%) está localizada em um mosaico de áreas protegidas com extensão de 12.000 km², formado por terras indígenas e unidades de conservação.

A bacia está localizada no Arco do Desmatamento da Amazônia, e teve cerca de 50% de sua área desmatada entre as décadas de 1970 e 2020, principalmente devido ao avanço da pecuária na região (SOUZA-FILHO *et al.*, 2018). A principal causa da conversão de florestas na região está associada a abertura de estradas não oficiais para o estabelecimento de assentamentos e reforma agrária e de pastagens, que facilitaram também a exploração madeireira no sudeste da Amazônia (LAURANCE; GOOSEM; LAURANCE, 2009; UHL, CHRISTOPHER; BUSCHBACHER, 1985). Além da pecuária, a BHRI possui atividade de mineração de grande expressão econômica (DIEGUES *et al.*, 1997), incluindo a maior mina de ferro a céu aberto do mundo.

Pela localização da BHRI em uma área altamente fragmentada no arco do desmatamento, resultante do estabelecimento de diversas atividades econômicas de forma desordenada, as áreas não protegidas foram em sua maior parte convertidas

em pastagens. Isso deu origem a uma paisagem com alto índice de desmatamento e uma vegetação em diversos estágios de degradação e regeneração.

Figura 1. Área de estudo, bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas, localizada no estado do Pará, sudeste da Amazônia brasileira



Fonte: Autores (2022)

2.2 Base de dados

Analisamos 35 anos de mapas de classificação de vegetação secundária gerados por (SILVA JUNIOR *et al.*, 2020), os quais tiveram como base os dados de uso e cobertura da terra desenvolvidos a partir de imagens Landsat (30m de resolução espacial) disponíveis na plataforma do MapBiomas - Coleção 6 (<https://brasil.mapbiomas.org/>), entre os anos de 1986 e 2020. As classes originais da plataforma foram agregadas em duas categorias: (i) valor 1 para todos os pixels da classe “formação florestal” do MapBiomas, sendo reclassificadas como “floresta” (inclui floresta primária e secundária desmatada antes de 1985); (ii) valor 0 para todas

as outras classes antrópicas (silvicultura, pastagem, agricultura, área urbanizada e mineração) ou outras formações não florestais. Isso gerou 35 anos de mapas binários, sendo a primeira transição identificada entre os anos de 1985 e 1986.

2.3 Mapeamento da idade e desmatamento da vegetação secundária

A metodologia utilizada neste estudo é baseada na plataforma FloreSer (NUNES *et al.*, 2020), de mapeamento da dinâmica da VS na Amazônia. Este método usa as camadas de classificação da cobertura da terra para identificar a VS resultante da transição de áreas antrópicas (e.g. área desmatada) para floresta (e.g. VS). Desta forma, os pixels classificados como desmatamento no ano de análise e como floresta no ano seguinte, foram reclassificados como VS de um ano de idade, que seguem a contagem conforme forem sendo identificados como vegetação ao longo do tempo, até o máximo de 35 anos.

Caso um pixel de VS seja novamente classificado como área desmatada, a contagem da idade zera e inicia novamente após ser identificada como floresta. Assim, um pixel pode ter vários ciclos de desmatamento e de crescimento de VS ao longo do tempo, todos capturados pelo método; e a idade da VS é o número de anos consecutivos em que um pixel é identificado como floresta após o último evento de desmatamento. Os mapas foram processados usando a plataforma de programação Google Earth Engine (GORELICK *et al.*, 2017).

2.4 Estimativa do balanço de carbono

Para a estimativa de biomassa em VS por idade utilizamos o modelo de (REQUENA SUAREZ *et al.*, 2019), o qual considera um crescimento linear da floresta de 0 a 20, passando a estimar o acúmulo de biomassa nos anos posteriores (>20 anos) como uma função do valor da biomassa precedente e da AGB (biomassa viva acima do solo) máxima que aquela floresta pode atingir (Equação 1). A taxa de incremento anual de biomassa como referência para a BHRI foi a medida por (LENNOX *et al.*, 2018) em florestas ombrófilas densas no estado do Pará com taxa de acúmulo de carbono igual a 4,78 Mg-ha⁻¹ ano⁻¹.

$$VS > 20anos = \frac{AGB_{20} - AGB_{m\acute{a}x}}{idade\ i - idade_{80}}$$

onde:

- $AGB_{máx}$ é de 244,42 Mg/ha (este valor de referência para florestas ombrófilas densas foi selecionado por ser predominante na BHRI e proveniente de dados de inventários florestais realizados na Flona de Carajás (DIONIZIO *et al.*, 2021);

- $Idade_{80}$ - Idade máxima para estabilização de acúmulo de carbono em floresta tropical - Informação disponível no material suplementar de (REQUENA SUAREZ *et al.*, 2019).

Após a estimativa dos valores de biomassa em Mg/ha, converteu-se o total para carbono Mg-C/ha utilizando o coeficiente proposto pelo IPCC de 0,47. Após a estimativa do teor de carbono nas florestas de acordo com a idade, foi realizado o somatório total do AGB por idade da VS e por ano. Para gerar o balanço líquido de carbono resultante do ganho e da perda de vegetação ao longo do tempo, cruzamos a área de vegetação secundária (ha) e área desmatada em VS por idade com a estimativa de teor de carbono para o respectivo ano. O balanço líquido de carbono foi obtido pela subtração das remoções por incremento da vegetação e emissões por desmatamento de VS.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Distribuição anual da vegetação secundária na BHRI

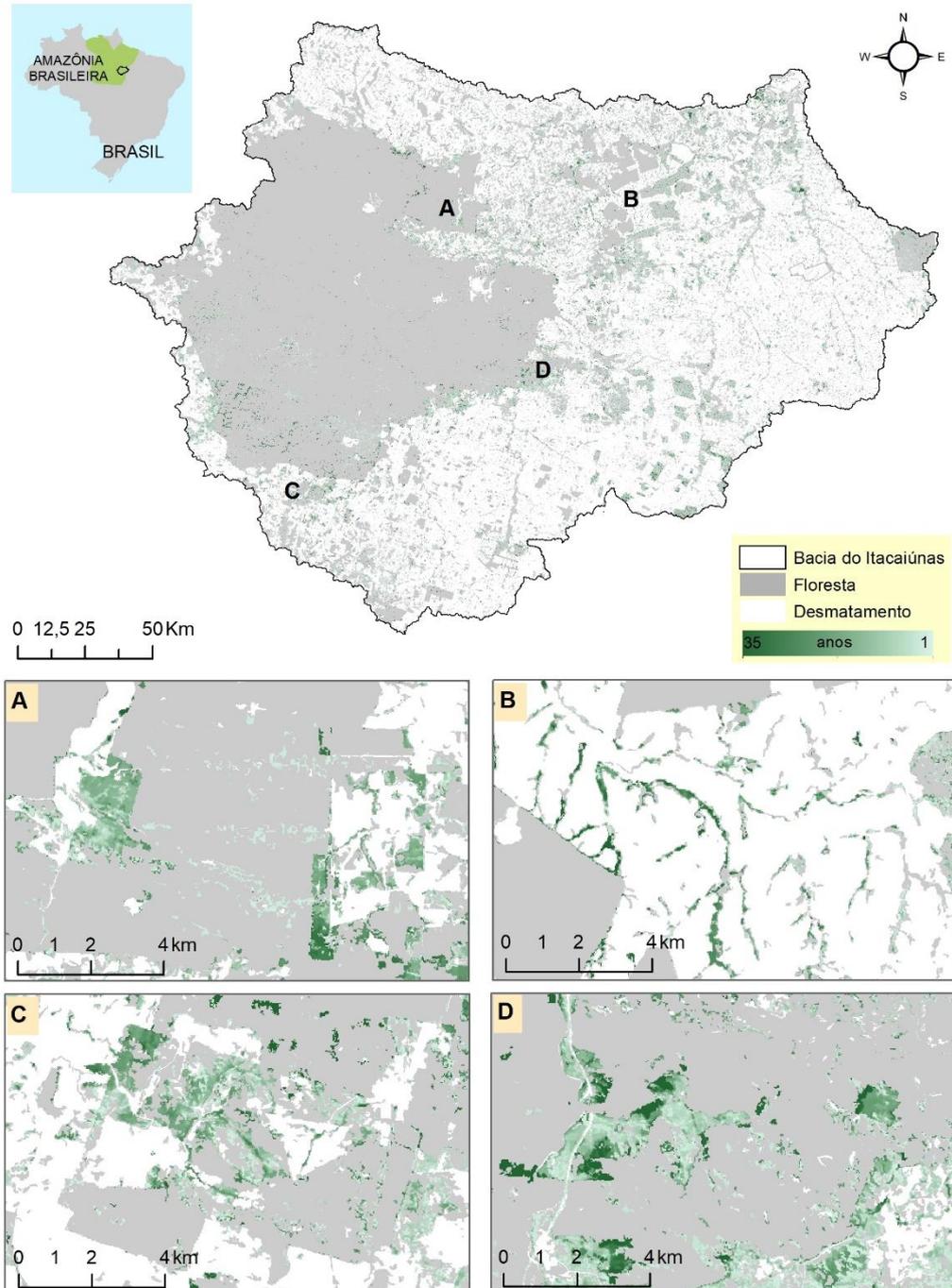
Em 2020 a VS apresentava-se distribuída por toda a BHRI (Figura 2), em diversas idades de regeneração, por se tratar de uma fronteira antiga de ocupação no arco do desmatamento, altamente fragmentada, mas ainda sob forte pressão para manutenção de pasto, principalmente. O padrão de distribuição e de idade de VS é diretamente influenciada por ciclos de uso do solo como manejo de pasto, agricultura e abandono de áreas degradadas. A VS está localizada principalmente nos limites entre as áreas protegidas e não protegidas, onde existe um esforço do governo e empresas de recompor a vegetação perdida na zona de amortecimento destas áreas, e também um alto potencial de regeneração pela proximidade com as áreas protegidas (CAVALCANTE *et al.*, 2022). Esta região também foi identificada como com alta prioridade para projetos de recomposição florestal voltados a preservação da biodiversidade (CAVALCANTE *et al.*, 2022). Também há uma maior concentração de áreas de VS ao norte da bacia, no município de Marabá (Figura 3), que apresentou

a maior área de VS em termos absolutos (Figuras 2 e 3). Além disso, o município possui grandes fragmentos de vegetação primária e também é um polo de pesquisa e mercado sobre reflorestamento para fins comerciais, recomposição florestal, sistemas agroflorestais e plantios agrícolas, para empresas, instituições de ensino e pesquisa, governo e associações comunitárias que atuam na região. Porém, neste estudo não separamos os tipos de regeneração da vegetação. Depois de Marabá, os municípios de Água Azul do Norte e Parauapebas possuem maior área de VS. Municípios como Piçarra, São Geraldo do Araguaia, Sapucaia, Xinguara e Ourilândia do Norte, localizados mais ao sul e sudeste da bacia, apresentaram menores áreas de VS (Figura 3).

Considerando a proporção de VS por área desmatada em cada município, Parauapebas (28,5%), Ourilândia do Norte (15,4%) e Canaã dos Carajás (14,5%) se destacam (Figura 3). Provavelmente pela influência das áreas protegidas que cobrem parte de seu território, o que aumenta a pressão para recomposição de floresta (Figura 1). Os municípios Eldorado dos Carajás (6,7%), Piçarra (7%) e São Geraldo do Araguaia (7,2%) apresentaram o menor percentual de regeneração (Figura 3). Esses resultados podem estar relacionados às áreas consolidadas, visto que trata-se da região que foi primeiramente desmatada na bacia e possui fácil acesso por rodovias oficiais, ainda com forte pressão para manutenção de áreas desmatadas (Figura 2 e 3). Trata-se também de uma região com menor potencial de regeneração natural devido ao reduzido número de grandes fragmentos florestais (CAVALCANTE *et al.*, 2022). A extensão de VS por ano e por classe de idade para cada município da bacia encontra-se no Anexo I.

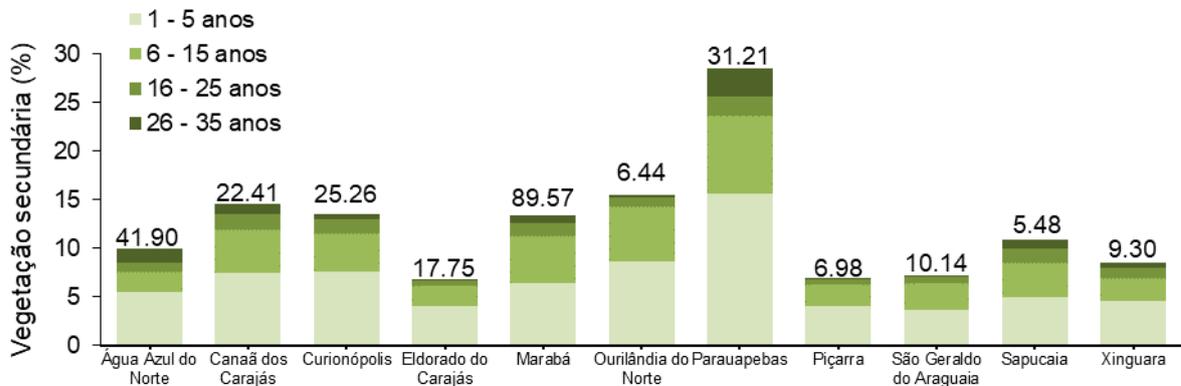
Porém, é importante considerar que grande parte (~50%) da VS presente nos municípios possui até 5 anos de idade; e o restante apresenta estágios médios (considerado como a VS entre 6 a 25 anos) e, em menor parte, avançados de regeneração (26 a 35 anos). Esta vegetação em estágios iniciais pode estar associada aos períodos de pousio (períodos rotacionais de produção), em que o solo “descansa” por alguns anos, até que as atividades sejam retomadas no local, caracterizando uma vegetação altamente propensa a novos ciclos de desmatamento.

Figura 2. Distribuição da vegetação secundária na bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas, Pará, em 2020. Os painéis com zoom mostram diversos estágios de regeneração da vegetação em áreas de pasto e agricultura (A, C e D) e áreas de preservação permanente (B)



Fonte: Autores (2022)

Figura 3. Extensão da vegetação secundária na bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas, Pará, em 2020, por classe de idade e por município. O percentual é em relação a área desmatada por município. Os valores acima das barras indicam a área absoluta em milhares de hectares de vegetação secundária por município.

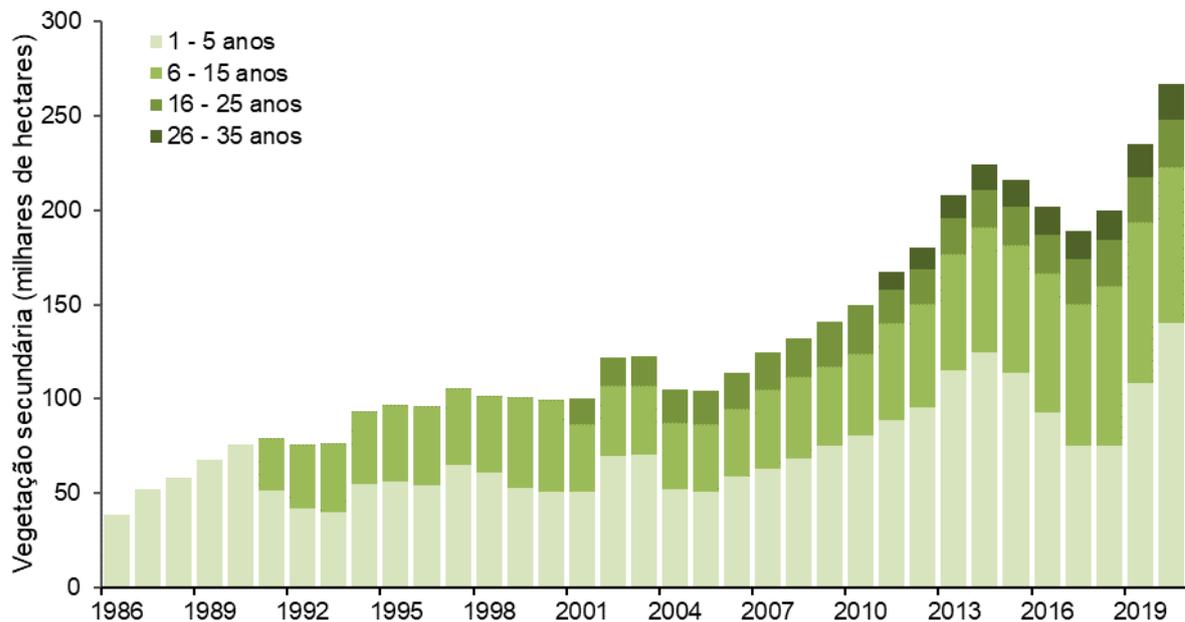


Fonte: Autores (2022)

A área de VS aumentou de 1986 para 2020, totalizando 266 mil ha neste último ano (Figura 4). Isso significa que 11,7% de toda a área desmatada mapeada na bacia em 2020 encontra-se em algum estágio de regeneração. Em geral, é observado um aumento das áreas de VS ao longo do tempo entre 1986 e 2020. A exceção é o período entre 2014 e 2017, logo após a promulgação da Lei de Proteção da Vegetação Nativa em 2012. Observa-se uma redução da área total de VS e da classe de 0 a 5 anos. Isso pode ser um indicativo de que os proprietários buscaram limpar áreas de VS, não protegidas pela lei e de mais fácil abertura, para avanço dos usos alternativos do solo.

O padrão de distribuição das classes de idade de VS ao longo do tempo, reflete o comportamento nos municípios. Grande parte da VS é jovem (≤ 5 anos). Em 2020, 53% (140 mil ha) de VS estava abaixo de 5 anos de idade; 31% entre 6 e 15 anos (83 mil ha); 9% entre 16 e 25 anos (24 mil ha); e apenas 7% entre 26 e 35 anos (19 mil) (Figura 4). Isso significa que existe alta incerteza sobre a extensão de VS que chegará a estágios mais avançados, já que a vegetação mais jovem possui grande frequência de uso, pelo próprio tipo de manejo rotacional do solo na região. Por outro lado, VS em estágios mais avançados de regeneração, possuem um padrão mais estável ao longo do tempo, sendo mais propensas a permanecerem crescendo. Este padrão é similar ao encontrado na Amazônia, em que quase metade da VS possuía até 5 anos, enquanto que apenas 13% possuía idade acima de 20 anos (NUNES *et al.*, 2020).

Figura 4. Extensão da vegetação secundária na bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas, Pará, por ano e por classe de idade.



Fonte: Autores (2022)

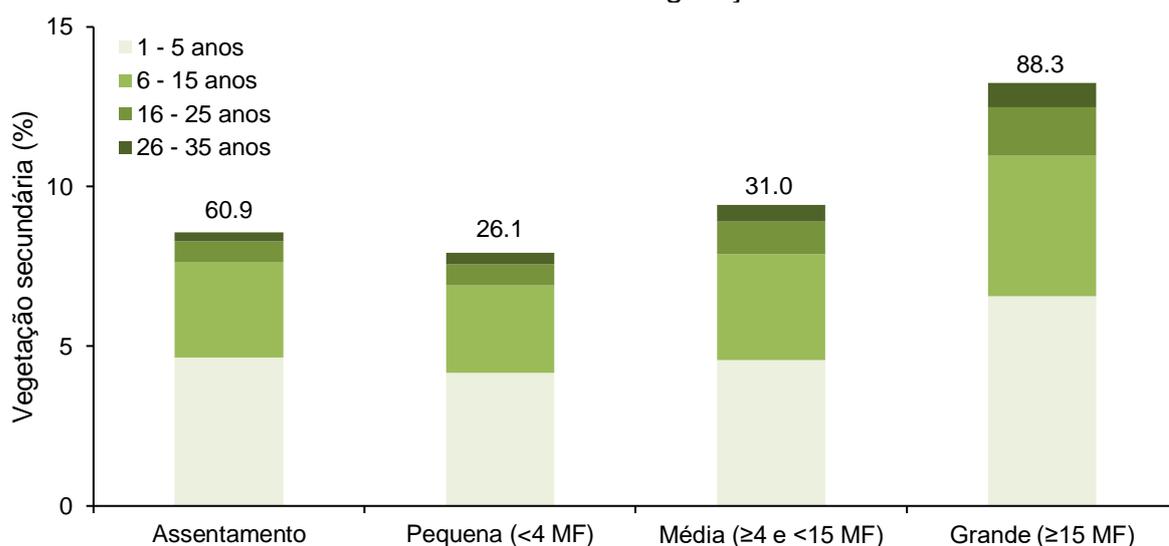
Devido a maior parte do passivo de florestas no Brasil estar concentrado em propriedades rurais privadas, em decorrência do desmatamento ilegal de áreas de preservação permanente e reserva legal (MAPBIOMAS, 2022; NUNES *et al.*, 2016, 2019), analisamos a distribuição de VS por tamanho de propriedade (Figura 5). Pequenas propriedades e assentamentos de reforma agrária seguem as mesmas regras de recomposição estabelecidas na Lei de Proteção da Vegetação Nativa; assim como médias e grandes são tratadas com regras iguais entre si. Isso porque a forma de uso da terra difere entre estes atores. Seguindo o mesmo padrão que na bacia e nos municípios, praticamente metade da VS em cada classe de tamanho de propriedade em 2020 é composta por $VS \leq 5$ anos (Figura 5), indicando uma vegetação com alta probabilidade de ser desmatada novamente.

As grandes propriedades apresentaram em 2020 a maior cobertura de VS dentre as propriedades rurais (88 mil ha) e também apresentaram o maior percentual de regeneração em áreas desmatadas (13,2%) (Figura 5). Em relação a área de VS, estão na sequência os assentamentos (61 mil ha), médias (31 mil ha) e pequenas propriedades (26 mil ha), o que reflete a ocupação destas categorias na BHRI. Contudo, em relação ao percentual de regeneração de área desmatada, as médias

propriedades (9,4%) apresentam a segunda maior proporção de regeneração, seguido de assentamentos (8,6%) e pequenas propriedades (7,9%). Por seguir as mesmas regras voltadas à agricultura familiar, já esperava-se que os assentamentos apresentassem um padrão semelhante às pequenas propriedades. De maneira geral os projetos de assentamento (PA) da Amazônia seguem atividades econômicas baseadas em agricultura e pecuária em pequena escala, com manejo da terra e ciclos rotacionais bastante intensos e frequentes (NUNES *et al.*, 2016), podendo explicar a alta taxa de VS mais jovem. Da mesma forma para médias e grandes propriedades, que possuem suas atividades principalmente voltadas para pecuária e agricultura em larga escala, com períodos de pousio normalmente até 5 anos.

Por outro lado, percebemos que o restante das áreas é composto por VS \geq 6 anos, o que pode indicar uma maior probabilidade de manutenção de parte destas florestas, seguindo a tendência mostrada na Figura 4. Esta figura mostra que ao longo do tempo, mesmo com aumento da VS \leq 5 anos, há também um aumento de VS em estágios mais avançados de regeneração.

Figura 5. Extensão da vegetação secundária na bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas, Pará, em 2020, por classe de idade, por tamanho de propriedades rurais e assentamentos. O percentual é em relação a área total desmatada por classe fundiária detectada em 2020. Os valores acima das barras indicam a área absoluta em milhares de hectares de vegetação secundária.



Fonte: Autores (2022)

3.2 Desmatamento em vegetação secundária na BHRI

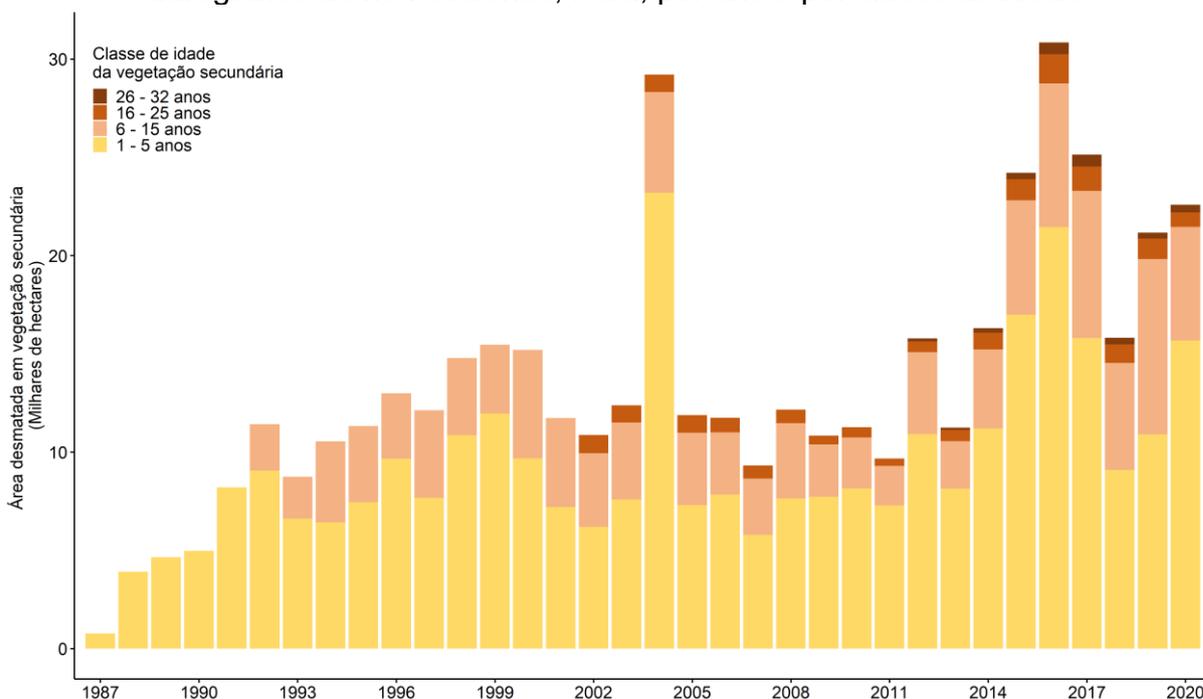
Para entendermos também o padrão de perda de VS ao longo do tempo, estimamos o desmatamento anual desta vegetação. Entre 1987 e 2020, uma área de ~459 mil hectares de VS foi desmatada na BHRI (Figura 6). No total, 10% de toda a VS mapeada neste período foi desmatada novamente até 2020 e 11,7% das áreas desmatadas na bacia em 2020 está sob alguma forma de regeneração. Em 2020, houve uma perda total de 22,6 mil ha, sendo 69% em $VS \leq 5$ anos, 26% de 6-15 anos, 3% de 16-25 e 2% de 26-34 anos. Em toda a série histórica, o desmatamento impactou principalmente a classe mais jovem de VS, refletindo novamente a dinâmica de uso da terra na região. Aqui, o padrão de uso da VS é confirmado também quando percebemos apenas um pequeno percentual de desmatamento nos estágios mais avançados de regeneração em 2020 (5% entre 16 e 34 anos) (Figura 6). Para a Amazônia, a perda de VS também seguiu um padrão similar: 72% do desmatamento em VS no último ano de análise (2017) ocorreu em VS com até 5 anos de idade e menos de 10% do desmatamento foi em VS entre 11 e 32 anos (NUNES *et al.*, 2020).

O padrão se repete para os municípios (Figura 7). Aqueles que apresentaram maior área de VS (Marabá, Água Azul do Norte e Parauapebas) foram os que apresentaram também maior desmatamento de VS, devido principalmente à perda na classe de $VS \leq 5$ anos, com percentuais bem inferiores de perdas nos estágios mais avançados. Considerando o desmatamento de VS em relação à área de VS em cada município, temos que Marabá (31,3% ou 9,85 mil ha), Canaã dos Carajás (27,5% ou 2,27 mil ha), Eldorado dos Carajás (25% ou 1,39 mil ha) e Parauapebas (24,2 ou 2,70 mil ha) foram os que mais perderam VS proporcionalmente falando. Enquanto que Sapucaia (5,9% ou 0,12 mil ha), Piçarra (11,5% ou 0,32 mil ha) e Xinguara (14% ou 0,47 mil ha) perderam menos (Figura 7). A extensão da perda de VS por ano e por classe de idade para cada município da bacia encontra-se no Anexo II.

Em propriedades rurais privadas, a tendência de desmatamento em VS foi a mesma para todos os tamanhos (Figura 8): maior perda concentrada em $VS \leq 5$ anos em pequenas (7,4%), médias (7,4), assentamento (7,3%), e grandes (4,2%). E uma pequena fração do desmatamento em classes mais antigas (16-34 anos): assentamentos (3,7%), pequenas (3,7%), médias (3,4%) e grandes (1,7%). Considerando o desmatamento total de VS em relação à área de VS em cada tipo de propriedade, encontramos que pequenas propriedades (11,1%), assentamentos

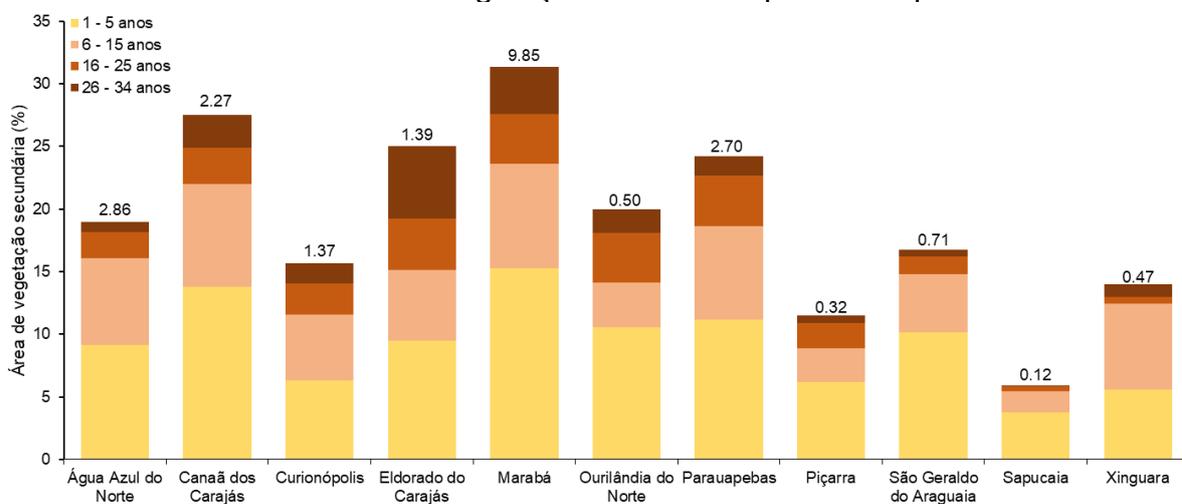
(11,0%) e tiveram a maior perda relativa, enquanto grandes propriedades (5,9%) apresentaram a menor perda relativa (Figura 8). Em termos absolutos, as grandes propriedades tiveram a maior perda (6.600 ha), seguidas das médias (5 mil ha), pequenas (3.390 ha) e assentamentos (2.840 ha) (Figura 8).

Figura 6. Extensão do desmatamento em vegetação secundária na bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas, Pará, por ano e por classe de idade



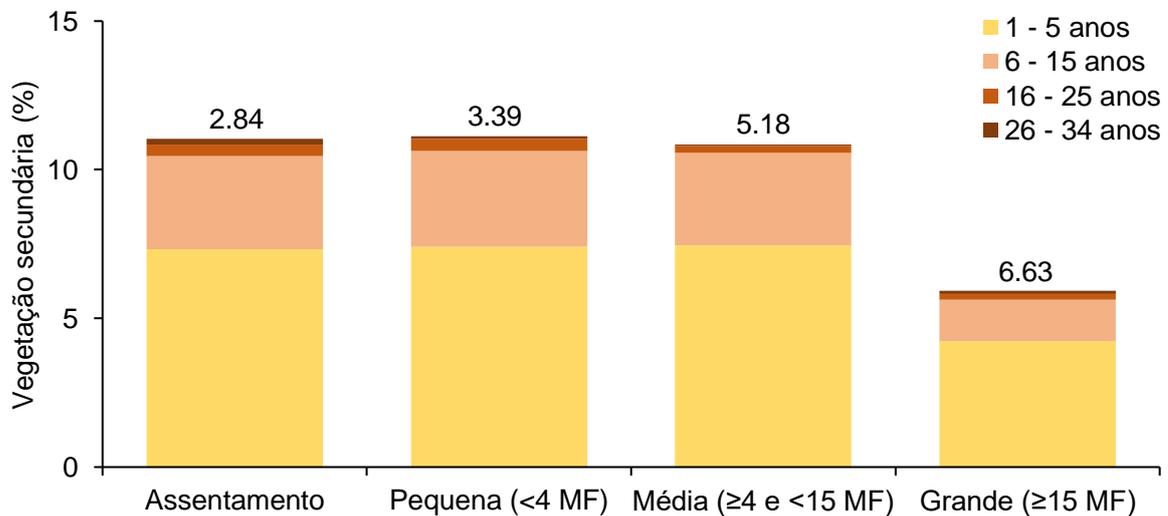
Fonte: Autores (2022)

Figura 7. Extensão do desmatamento em vegetação secundária na bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas, Pará, em 2020, por classe de idade e por município. O percentual é em relação ao total de vegetação secundária por município detectado em 2020. Os valores acima das barras indicam a área absoluta em milhares de hectares de vegetação secundária por município



Fonte: Autores (2022)

Figura 8. Extensão do desmatamento em vegetação secundária na bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas, Pará, em 2020, por classe de idade, por tamanho de propriedades rurais e assentamentos. O percentual é em relação ao total de VS em cada classe de tamanho detectada em 2020. Os valores acima das barras indicam a área absoluta em milhares de hectares de vegetação secundária

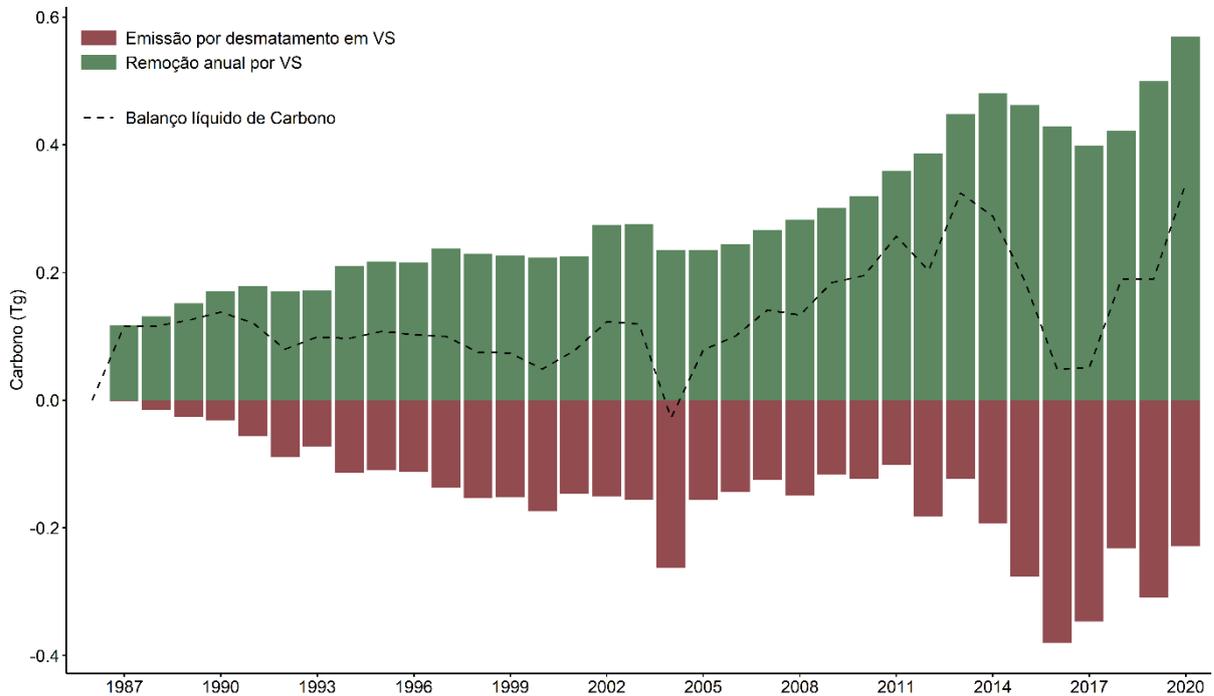


Fonte: Autores (2022)

3.3 Balanço líquido de carbono em vegetação secundária na BHRI

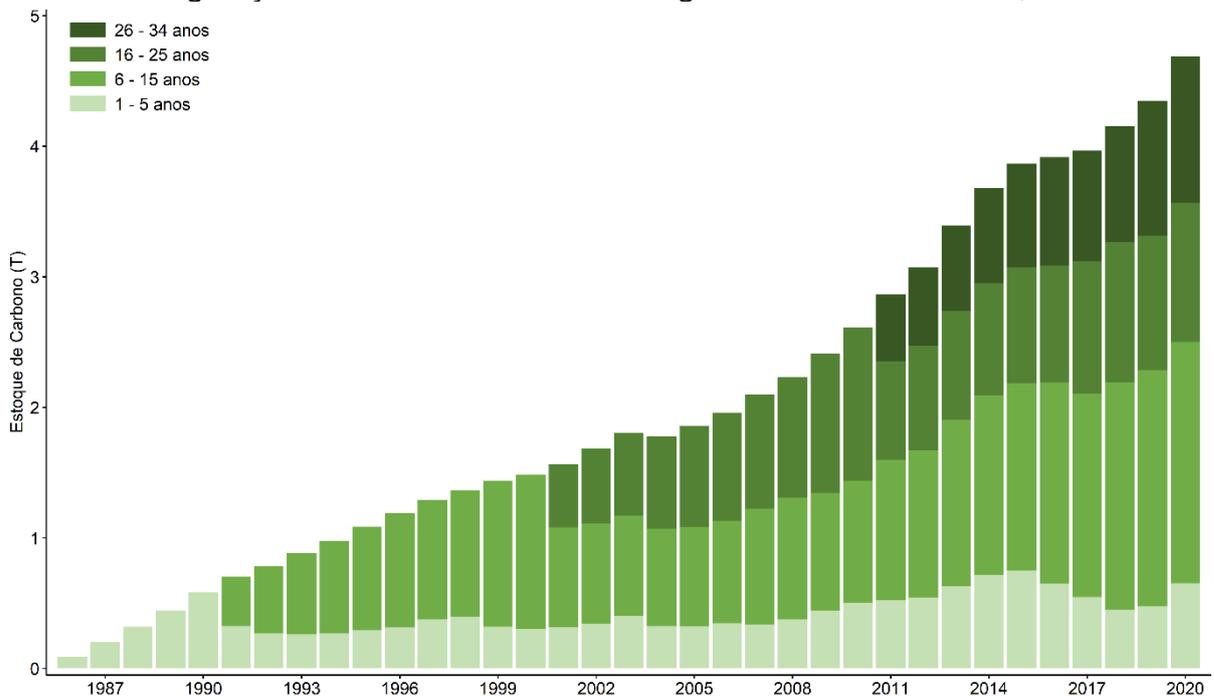
Entre 1986 e 2020, o crescimento de VS na área de estudo resultou em uma remoção total de C da atmosfera de 9,76 T-C (ou 9 milhões de toneladas). Porém, parte foi re-emitido. A perda de VS gerou uma emissão por desmatamento de 5,16 T-C (ou 5 milhões de toneladas), deixando um balanço positivo de 4,60 T-C (Figura 9). Em 2020, o balanço positivo foi de 0,34 T-C, sendo 0,57 T-C de remoção e 0,23 T-C de emissão por desmatamento de VS. O estoque de carbono armazenado na biomassa viva da vegetação secundária em 2020 corresponde a 4,7 T-C (Figura 10). O balanço de C durante a séria histórica reflete o comportamento da VS, com maiores ganhos que perdas e maior estabilidade de VS em fases mais avançadas de regeneração, as quais estocam mais carbono. VS ≤ 5 anos representou 13% de todo o estoque de carbono; VS 6-15 anos, estocou 40% de C; VS 16-25 anos, 23%; VS 26-35 anos, 24%. Isso demonstra que se parte da VS ≤ 5 anos continuasse amadurecendo, isso teria um grande impacto no estoque de carbono da bacia (Figura 4).

Figura 9. Remoção e emissão de carbono (biomassa viva acima do solo) anuais por vegetação secundária na bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas, Pará. O balanço positivo de carbono é demonstrado pela linha tracejada, resultado de maiores ganhos que perdas de vegetação secundária ao longo do tempo.



Fonte: Autores (2022)

Figura 10. Estoque de carbono (biomassa viva acima do solo) por classe de idade de vegetação secundária na bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas, Pará.



Fonte: Autores (2022)

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nossos resultados mostraram que 11,7% do desmatamento mapeado em 2020 na bacia do Itacaiúnas está sob alguma forma de regeneração, totalizando 266 mil ha neste ano. Mesmo apresentando um padrão de aumento de VS ao longo do tempo, a cobertura atual de VS ainda é baixa na BHRI. A VS está principalmente localizada nas fronteiras com grandes fragmentos e mosaicos de áreas preservadas. O padrão de distribuição da VS por idade, na bacia, nos municípios e entre propriedades rurais privadas é semelhante: mais da metade da VS está concentrada nos primeiros cinco anos, mesmo esta classe possuindo a metade da amplitude das outras. Isso reflete a forma de uso da terra na Amazônia, com sistemas de manejo rotacional, intercalando período de uso e descanso do solo por até 5 anos (pousio). Isso sugere que a VS mais jovem está sob alta pressão de desmatamento, por estar ainda em uso.

A natureza efêmera da VS nos primeiros anos é confirmada pela alta taxa de desmatamento até 5 anos de idade, representando 69% do total de 22.5 mil ha desmatados na bacia em 2020. Por outro lado, vemos que a VS em estágios mais avançados de regeneração possui a tendência de permanecerem mais estáveis, com um desmatamento de apenas 5% entre 16 e 34 anos em 2020. O desmatamento de VS por municípios e por tamanho de propriedades, também seguiu o mesmo padrão, com a maior parte da perda de VS até 5 anos de idade e um pequeno percentual nas classes mais avançadas.

Na análise de balanço de carbono, encontramos que a dinâmica da vegetação secundária exerce um papel positivo na BHRI, apresentando um balanço líquido de 4,60 T-C, já que a remoção foi muito maior que a emissão por desmatamento. E o estoque de carbono armazenado na biomassa viva da vegetação secundária em 2020 corresponde a 4,7 T-C. Ao contrário do que ocorreu no ganho de VS até 5 anos, esta classe representou o menor estoque de carbono (13%), por acumular menos biomassa; enquanto a classe de VS entre 16-25 anos foi responsável pelo maior estoque (40%). A grande área de VS, seguida de altas taxas de desmatamento nos primeiros anos, enfraquece o uso da VS como alternativa para combater as mudanças do clima.

Há implicações importantes para a baixa cobertura de VS mais madura na região de estudo, como impactos negativos na provisão de serviços ecossistêmicos e retorno da biodiversidade. Além disso, a VS é importante no contexto da

implementação da legislação ambiental, para reduzir as áreas de passivo; reduzir a pressão por desmatamento em floresta primária; e o monitoramento da idade, ganho e perda destas áreas ajuda cientistas e tomadores de decisão a medir o balanço líquido de carbono e seus impactos nas mudanças do clima. Os estudos mostram que a área desmatada atual é o suficiente para produção de alimentos, sem precisar avançar sobre novas áreas de floresta (GRISCOM *et al.*, 2017). E, se assumirmos que a maior parte da VS até 5 anos está em uso agrícola, continuaremos tendo uma baixa cobertura de VS em estágios mais avançados.

Desta forma, acreditamos que a VS possui alto potencial de sequestro de carbono, recomposição da biodiversidade e provisão de serviços ecossistêmicos, desde que: (i) parte da VS seja protegida do desmatamento, principalmente pelos estados (i.e. o estado do Pará é o único que possui lei específica que protege VS fora de áreas de preservação permanente e reserva legal); (ii) a fiscalização/monitoramento seja mais eficiente, incorporando a dinâmica da VS nos sistemas anuais e de alertas oficiais e não oficiais; (iii) além de requerimentos legais, sejam ampliados e regulamentados programas de pagamentos por serviços ambientais como incentivo à manutenção destas áreas em larga escala; (iv) os proprietários tecnifiquem as áreas de agropecuária para aumentar sua eficiência, reduzindo a pressão por novos desmatamentos, e priorizem áreas de baixa aptidão agrícola para a recompor áreas de preservação permanente e reserva legal, segundo a legislação.

5 REFERÊNCIAS

CAVALCANTE, R. B. L. *et al.* Multicriteria approach to prioritize forest restoration areas for biodiversity conservation in the eastern Amazon. *Journal of Environmental Management*, v. 318, p. 115590, 15 set. 2022.

CHAZDON, R. L. Beyond Deforestation: Restoring Forests and Ecosystem Services on Degraded Lands. *Science*, v. 320, n. 5882, p. 1458–1460, 13 jun. 2008.

COSTA, F. DE A. Dinâmica Agrária e Balanço de Carbono na Amazônia. *Economia*, v. 10, n. 1, p. 117–151, 2009.

DIEGUES, A. C. *et al.* *Deforestation and Livelihoods in the Brazilian Amazon*. São Paulo, Brazil: NUPAUB, 1997.

DIONIZIO, E. *et al.* *Determinação dos valores de estoque de carbono na biomassa acima do solo para ferramenta de cálculo de emissões e remoções de carbono em áreas nacionais da companhia Vale*. . [S.l.]: ITV, 2021. Disponível em:

<https://www.itv.org/wp-content/uploads/2021/12/DIONIZIO-E.-A.-et-al.-Determinacao-dos-valores-de-estoque-de-carbono-...PROD_TEC_ITV_DS_2021.30.Dionizio-Capa_Resumo.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2022.

GORELICK, N. *et al.* Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, Big Remotely Sensed Data: tools, applications and experiences. v. 202, p. 18–27, 1 dez. 2017.

GRISCOM, B. W. *et al.* Natural climate solutions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 114, n. 44, p. 11645–11650, 31 out. 2017.

LAURANCE, W. F.; GOOSEM, M.; LAURANCE, S. G. W. Impacts of roads and linear clearings on tropical forests. *Trends in Ecology & Evolution*, v. 24, n. 12, p. 659–669, dez. 2009.

LENNOX, G. D. *et al.* Second rate or a second chance? Assessing biomass and biodiversity recovery in regenerating Amazonian forests. *Global Change Biology*, v. 24, n. 12, p. 5680–5694, 2018.

MAPBIOMAS. *Relatório anual do desmatamento no Brasil*. . São Paulo, SP: [s.n.], 2022. Disponível em: <<http://alerta.mapbiomas.org/>>.

NELSON, R. F. *et al.* Secondary Forest Age and Tropical Forest Biomass Estimation Using Thematic Mapper Imagery Single-year tropical forest age classes, a surrogate for standing biomass, cannot be reliably identified using single-date tm imagery. *BioScience*, v. 50, n. 5, p. 419–431, 1 maio 2000.

NUNES, S. *et al.* Compensating for past deforestation: Assessing the legal forest surplus and deficit of the state of Pará, eastern Amazonia. *Land Use Policy*, v. 57, p. 749–758, nov. 2016.

NUNES, S. *et al.* Uncertainties in assessing the extent and legal compliance status of riparian forests in the eastern Brazilian Amazon. *Land Use Policy*, v. 82, p. 37–47, 1 mar. 2019.

NUNES, S. *et al.* Unmasking secondary vegetation dynamics in the Brazilian Amazon. *Environmental Research Letters*, v. 15, n. 3, p. 034057, mar. 2020.

PERZ, S. G.; SKOLE, D. L. Secondary Forest Expansion in the Brazilian Amazon and the Refinement of Forest Transition Theory. *Society & Natural Resources*, v. 16, n. 4, p. 277–294, 1 abr. 2003.

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

REQUENA SUAREZ, D. *et al.* Estimating aboveground net biomass change for tropical and subtropical forests: Refinement of IPCC default rates using forest plot data. *Global Change Biology*, v. 25, n. 11, p. 3609–3624, 2019.

SILVA JUNIOR, C. H. L. *et al.* Benchmark maps of 33 years of secondary forest age for Brazil. *Scientific Data*, v. 7, n. 1, p. 269, 14 ago. 2020.

SOUZA-FILHO, P. *et al.* A GEOBIA Approach for Multitemporal Land-Cover and Land-Use Change Analysis in a Tropical Watershed in the Southeastern Amazon. *Remote Sensing*, v. 10, n. 11, p. 1683, 25 out. 2018.

TERRACLASS. *Projeto TerraClass 2014*. Disponível em: <http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/terraclass2014.php>. Acesso em: 23 jan. 2019.

UHL, C.; BUSCHBACHER, R.; SERRAO, E. A. S. Abandoned Pastures in Eastern Amazonia. I. Patterns of Plant Succession. *Journal of Ecology*, v. 76, n. 3, p. 663–681, 1988.

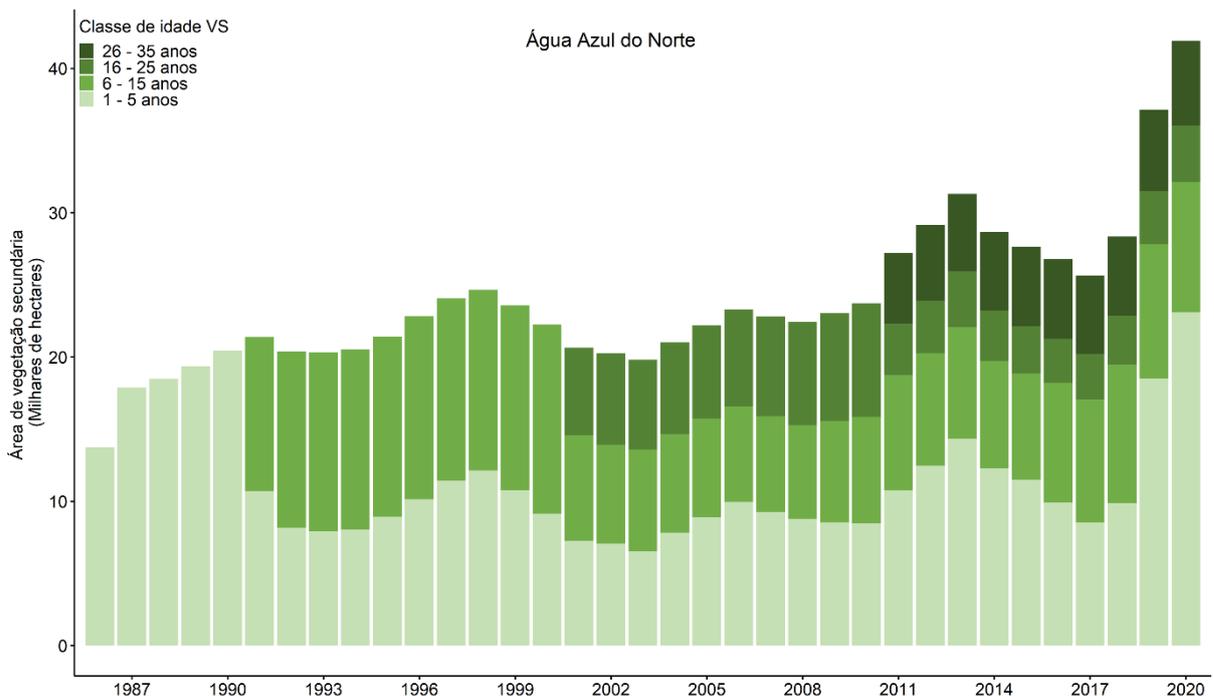
UHL, CHRISTOPHER; BUSCHBACHER, R. A Disturbing Synergism Between Cattle Ranch Burning Practices and Selective Tree Harvesting in the Eastern Amazon. *Biotropica*, v. 17, n. 4, p. 265–268, 1985.

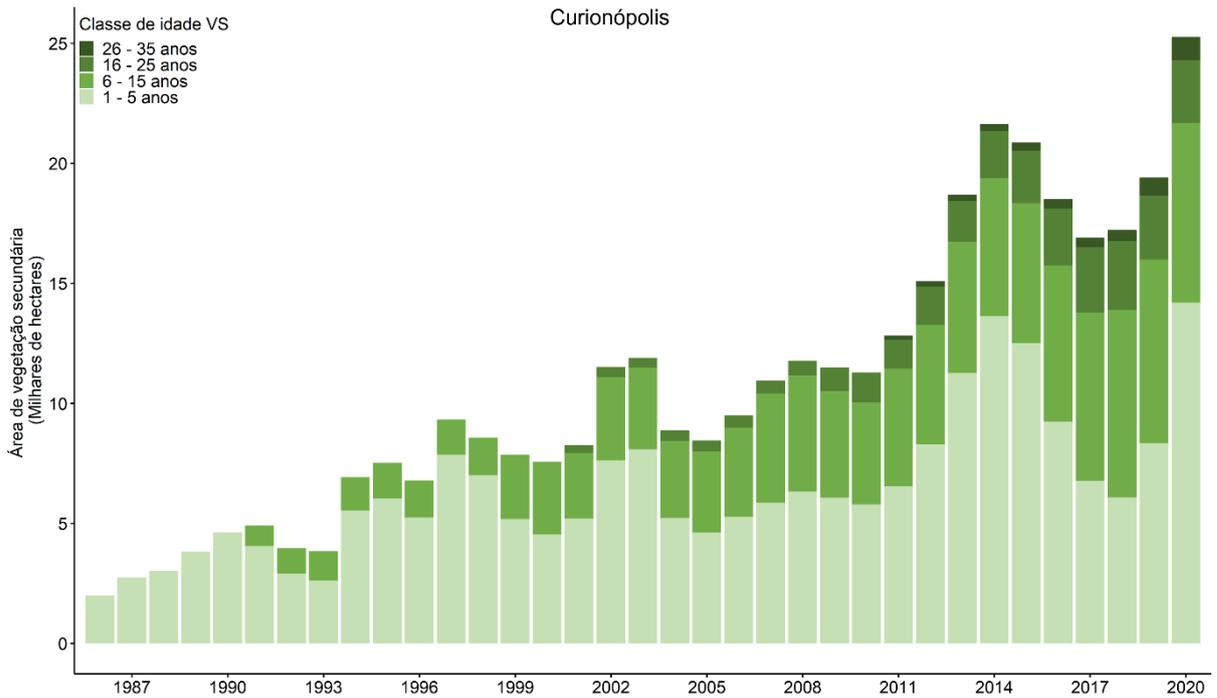
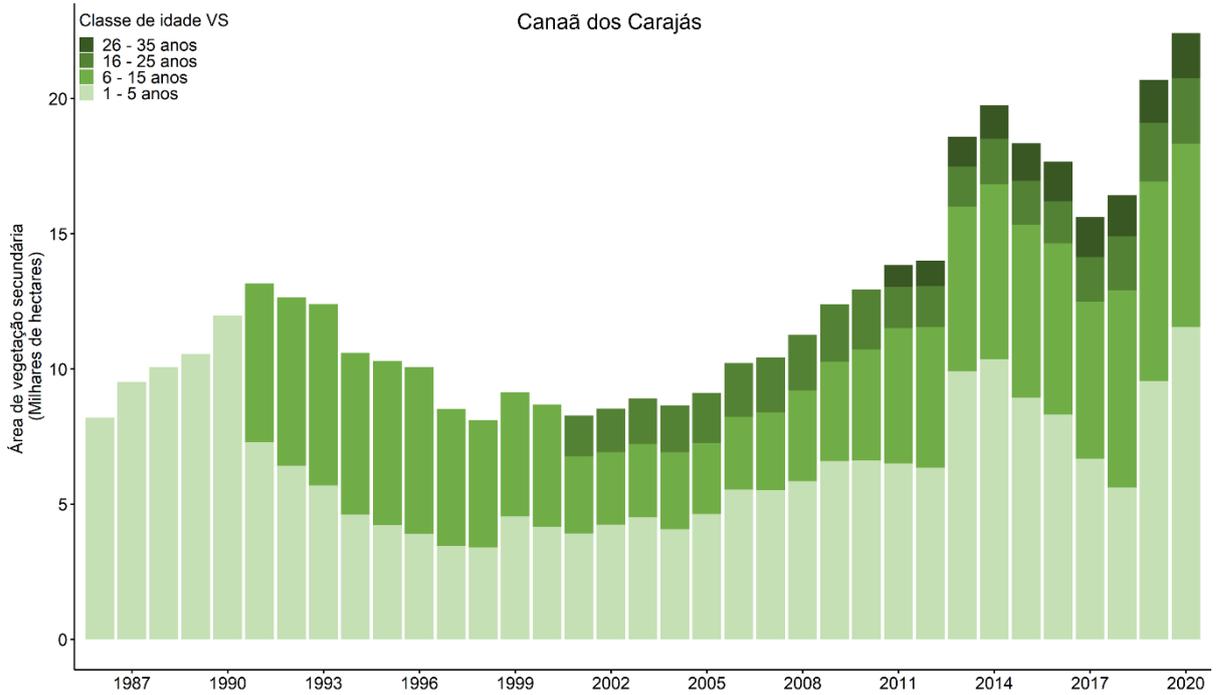
VIEIRA, I. C. G. *et al.* Challenges of governing second-growth forests: A case study from the Brazilian Amazonian State of Pará. *Forests*, v. 5, n. 7, p. 1737–1752, 2014.

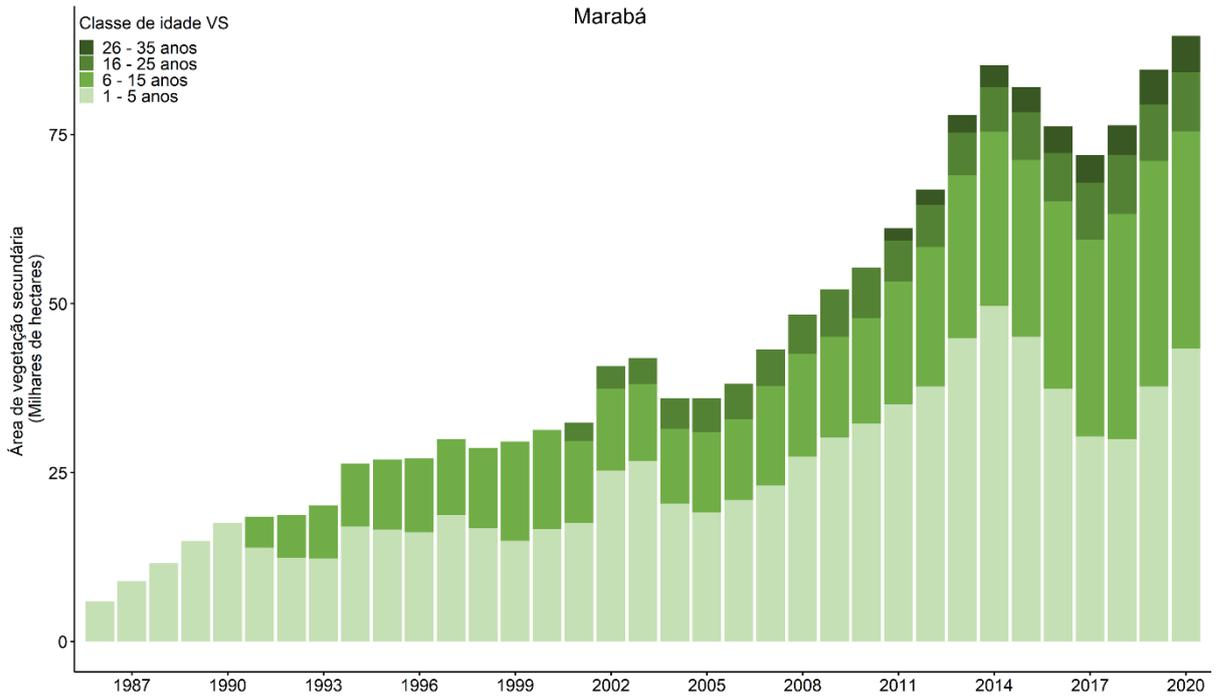
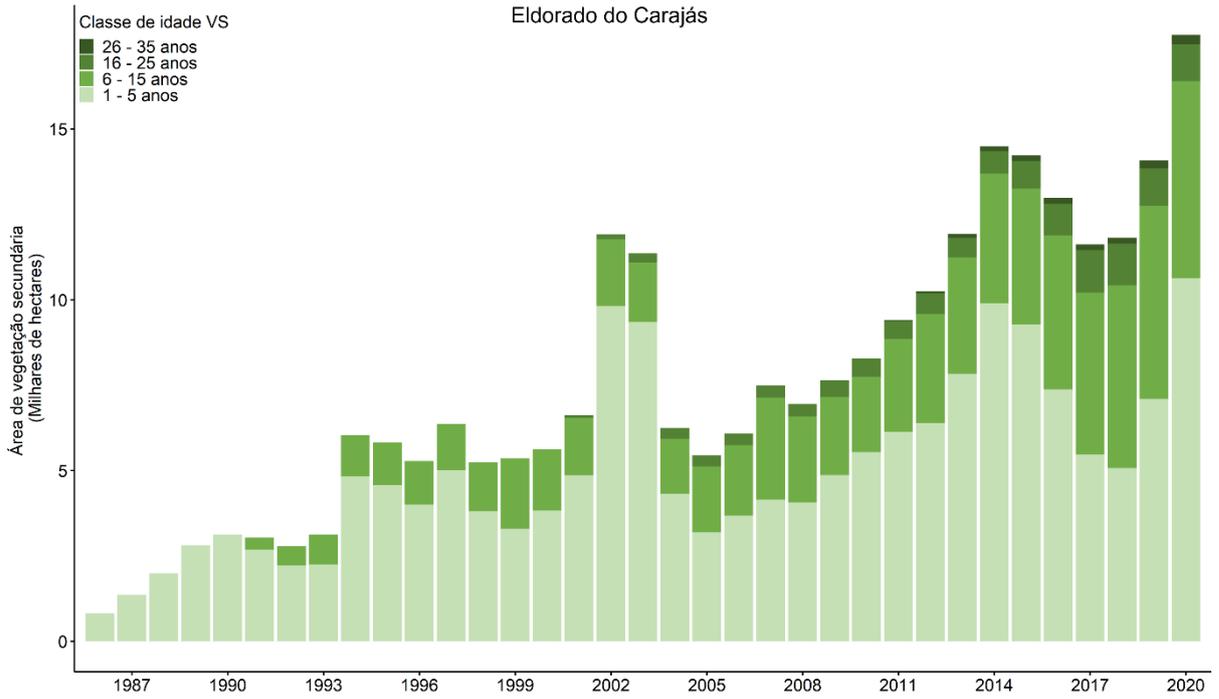
ZARIN, D. J. *et al.* Potential Biomass Accumulation in Amazonian Regrowth Forests. *Ecosystems*, v. 4, n. 7, p. 658–668, 1 nov. 2001.

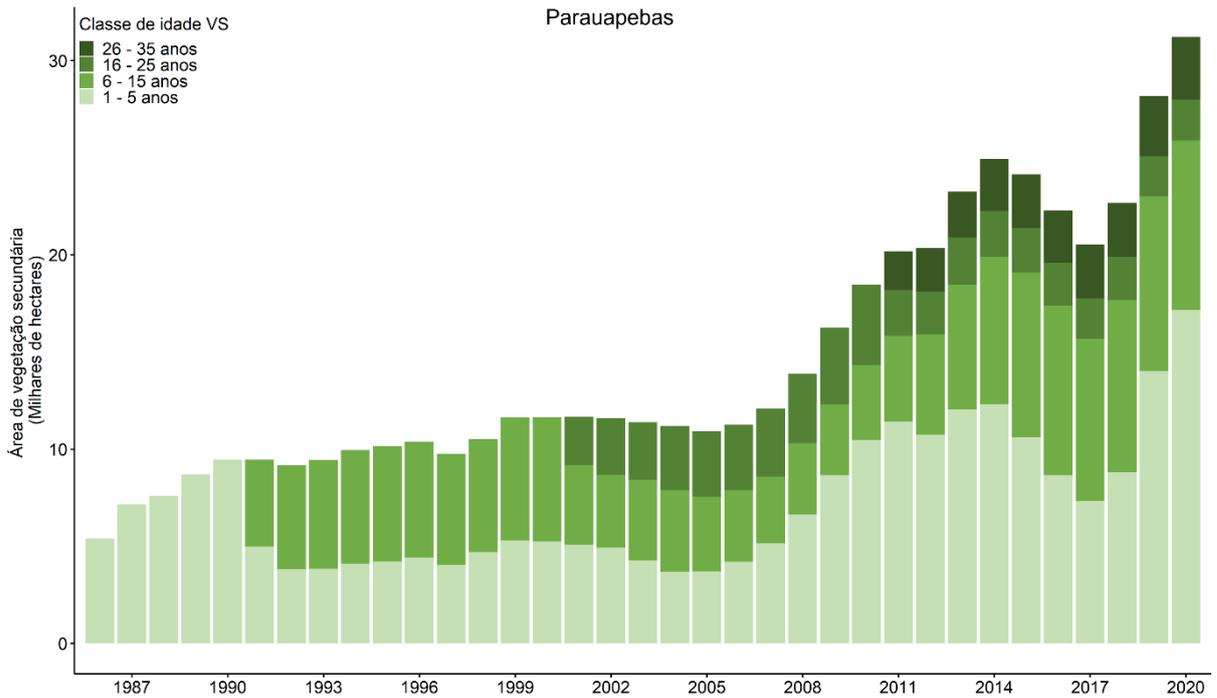
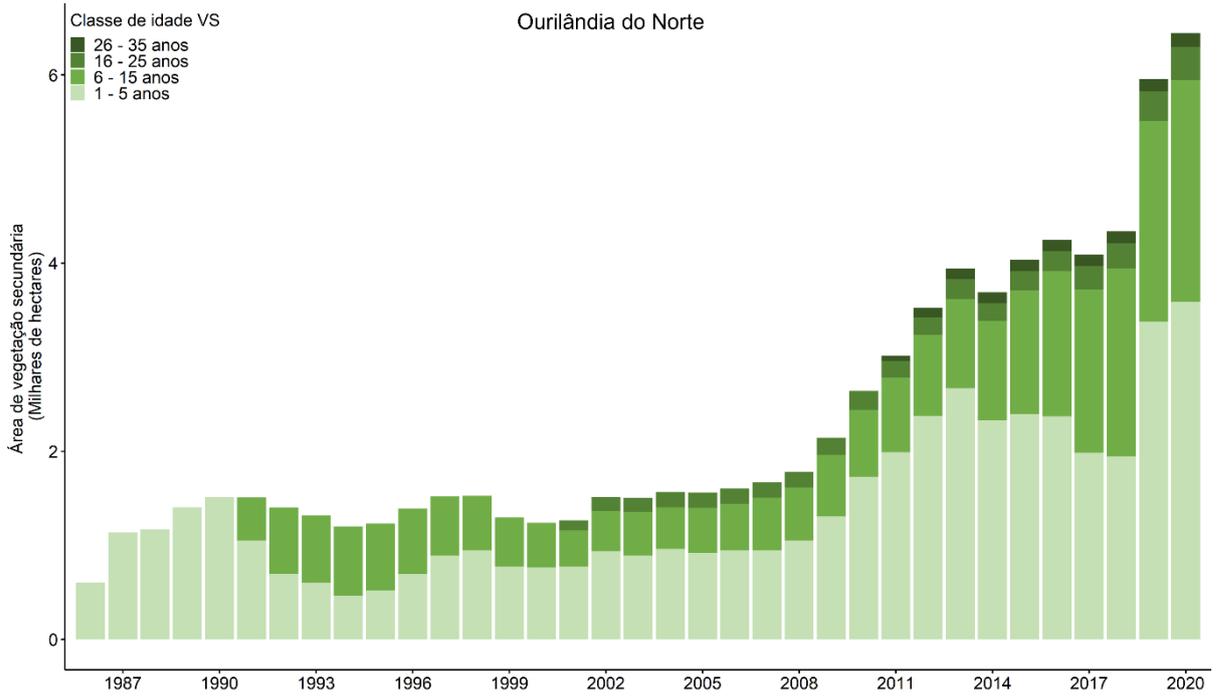
ANEXO I

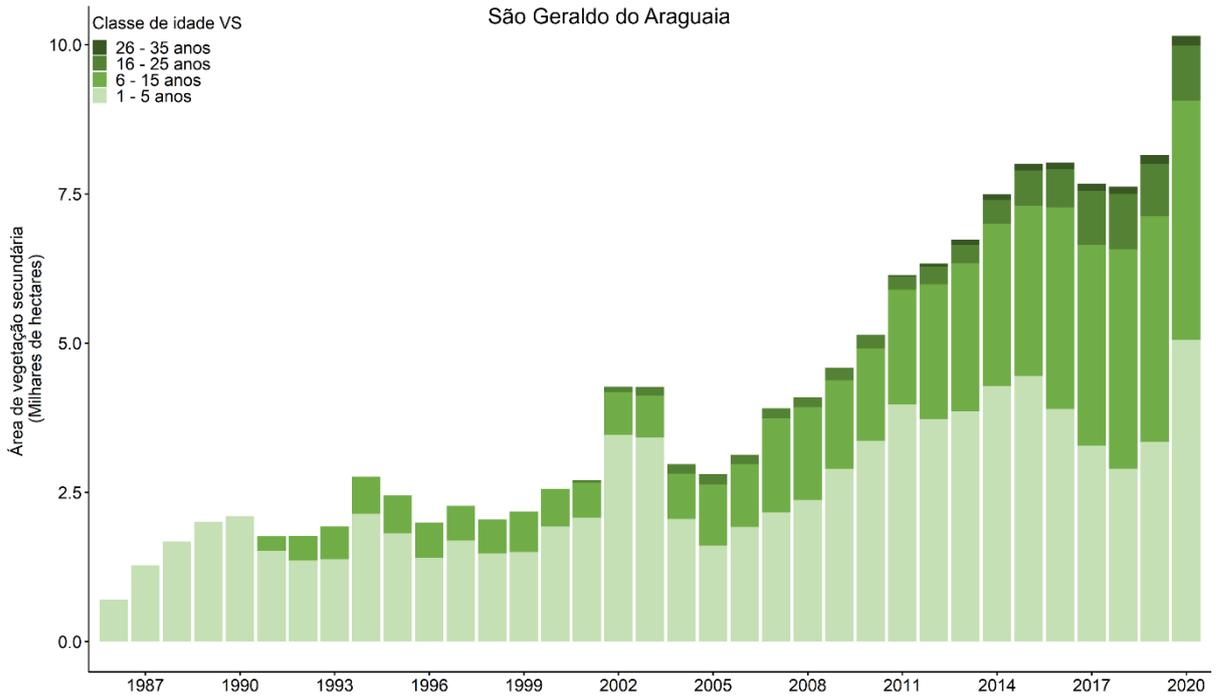
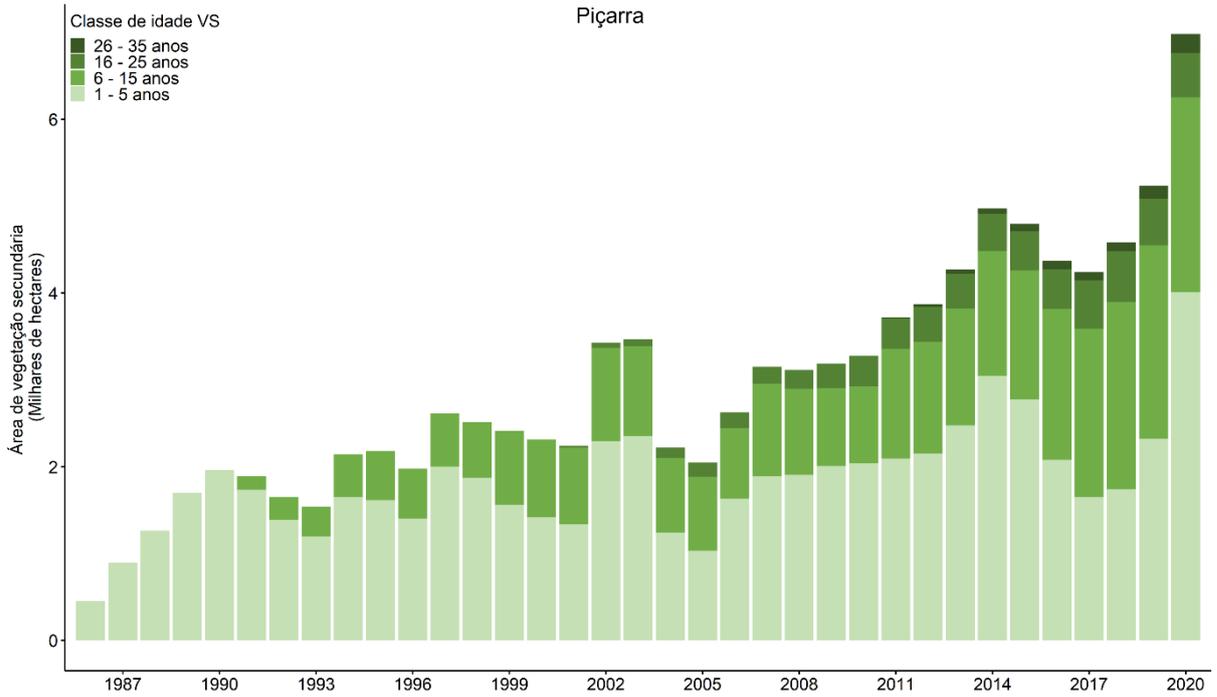
Extensão de vegetação secundária por ano e por classe de idade para cada município da bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas. Fonte: Autores (2022).

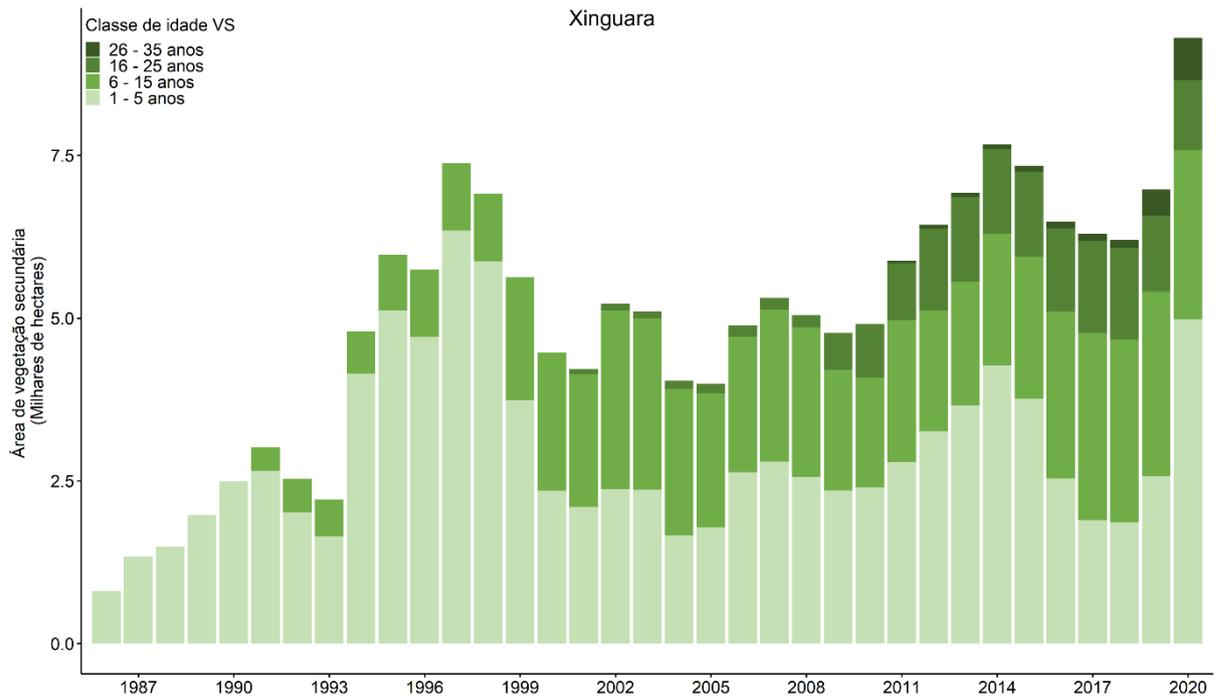
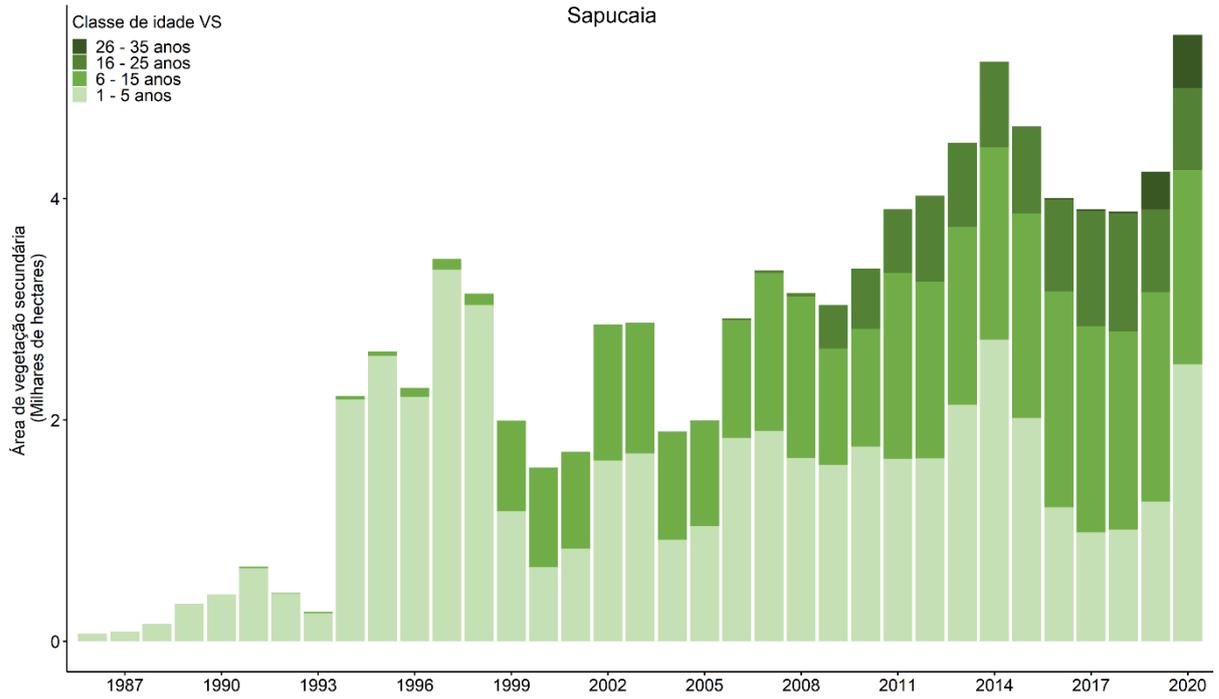












ANEXO II

Extensão da perda de vegetação secundária por ano e por classe de idade para cada município da bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas. Fonte: dos autores (2022).

