



Universidade de Brasília – UnB
Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável – PPGCDS/UnB
Curso de Mestrado Acadêmico

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO:

O Preço do Desmatamento na AMACRO: uma análise a partir de base de dados de biomassa acima do solo e de *dashboards* de desmatamento

Linha de Pesquisa: Território, Meio Ambiente e Sociedade.

Mestrando: Gabriel Klein Ramos

Matrícula: 222105819

Email: 222105819@aluno.unb.br

Orientador: Gustavo Macedo de Mello Baptista

Brasília, Outubro de 2024

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Quantidade de toneladas de AGB por hectare, em cada região de interesse na AMACRO em 2010 e em 2022.	66
Figura 2 - Quantidade de toneladas de SOC por hectare, em cada região de interesse na AMACRO em 2010 e em 2022.	72
Figura 3 - Quantidade média de toneladas de CO ₂ e por hectare, em cada região de interesse na AMACRO em 2010 e em 2022.....	79
Figura 4 - Uso e cobertura do solo por classe na AMACRO e suas APs, entre 2010 e 2022. Fonte: MapBiomias, 2023.....	91
Figura 5 - Uso e cobertura do solo por classe na AMACRO, desconsiderando os territórios de suas APs, entre 2010 e 2022. Fonte: MapBiomias, 2023.	92
Figura 6 - Uso e cobertura do solo por classe nas UCs Federais da AMACRO, entre 2010 e 2022. Fonte: MapBiomias, 2023.....	93
Figura 7 - Uso e cobertura do solo por classe nas TIs Federais da AMACRO, entre 2010 e 2022. Fonte: MapBiomias, 2023.....	93
Figura 8 - Uso e cobertura do solo por classe nos municípios da AMACRO, entre 2010 e 2022. Fonte: MapBiomias, 2023.....	94
Figura 9 - Desmatamento anual por classe na AMACRO com UCs e com TIs, entre 2010 e 2021. Fonte: MapBiomias, 2023.....	96
Figura 10 - Desmatamento acumulado por classe na AMACRO com UCs e com TIs, entre 2010 e 2021. Fonte: MapBiomias, 2023.	96
Figura 11 - Desmatamento anual por classe na AMACRO sem UCs e sem TIs, entre 2010 e 2021. Fonte: MapBiomias, 2023.....	97
Figura 12 - Desmatamento acumulado por classe na AMACRO com UCs e com TIs, entre 2010 e 2021. Fonte: MapBiomias, 2023.	98
Figura 13 - Desmatamento anual por classe nas UCs da AMACRO, entre 2010 e 2021. Fonte: MapBiomias, 2023.	99
Figura 14 - Desmatamento acumulado por classe nas UCs da AMACRO, entre 2010 e 2021. Fonte: MapBiomias, 2023.....	99
Figura 15 - Desmatamento anual por classe nas TIs da AMACRO, entre 2010 e 2021. Fonte: MapBiomias, 2023.	100
Figura 16 - Desmatamento acumulado por classe nas TIs da AMACRO, entre 2010 e 2021. Fonte: MapBiomias, 2023.....	101
Figura 17 - Desmatamento anual por classe nos municípios da AMACRO, entre 2010 e 2021. Fonte: MapBiomias, 2023.....	102
Figura 18 - Desmatamento acumulado por classe nos municípios da AMACRO, entre 2010 e 2021. Fonte: MapBiomias, 2023.....	102
Figura 19 - Toneladas de biomassa viva acima do solo por hectare (tAGB/ha), em 2010 e 2022, em cada região de interesse da AMACRO.	110
Figura 20 - Toneladas de biomassa viva acima do solo totais (tAGB), em 2010 e 2022, em cada região de interesse da AMACRO.	111
Figura 21 - Toneladas de dióxido de carbono equivalente por hectare (tCO ₂ e/ha), em 2010 e 2022, em cada região de interesse da AMACRO.	112
Figura 22 - Toneladas de dióxido de carbono equivalente totais (tCO ₂ e), em 2010 e 2022, em cada região de interesse da AMACRO.	113

Figura 23 - Perda de área florestal entre 2010 e 2022 na AMACRO e suas regiões. Fonte: MapBiomias, 2023.....	115
Figura 24 - Estimativas dos potenciais ganhos em cada mercado na AMACRO, entre 2010 e 2022.....	117

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 - Localização da AMACRO no Brasil.....	18
Mapa 2 - AMACRO e Áreas Protegidas (Unidades de Conservação Federal e Terras Indígenas Homologadas pela FUNAI).....	51
Mapa 3 - Divisão proposta da AMACRO em cinco territórios para análise: AMACRO, AMACRO Expandido (considerando a AMACRO e as Unidades de Conservação Federal e Terras Indígenas Homologadas pela FUNAI), UCs Federais da AMACRO, TIS Homologadas pela FUNAI e AMACRO.	52
Mapa 4 - Total de tCO ₂ e/ha na AMACRO em 2022.	82
Mapa 5 - Total de tCO ₂ e/ha na AMACRO Expandido em 2022.....	83
Mapa 6 - Total de tCO ₂ e/ha nas TIs da AMACRO em 2022.	84
Mapa 7 - Total de tCO ₂ e/ha nas UCs da AMACRO em 2022.....	85
Mapa 8 - Total de tCO ₂ e/ha na AMACRO sem UCs e sem TIs em 2022.	86

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Projetos de Lei que tratam sobre o mercado de carbono, tramitando no Brasil.	25
Quadro 2 - Municípios da AMACRO e suas respectivas áreas em quilômetro quadrado (km ²) e em hectares (ha). Fontes: Relatório Anual de Desmatamento no Brasil de 2022 (MapBiomass, 2023) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022).	41
Quadro 3 - Áreas Protegidas da AMACRO e suas respectivas áreas em km ² e em ha. Fontes: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio, 2023) e Fundação Nacional dos Povos Indígenas (FUNAI, 2021).	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantidade de toneladas de AGB por hectare, em cada região de interesse na AMACRO em 2010 e em 2022.	66
Tabela 2 - Quantidade de toneladas de AGB por hectare, em cada TI da AMACRO em 2010 e em 2022.....	67
Tabela 3 - Quantidade de toneladas de AGB por hectare, em cada UC Federal da AMACRO em 2010 e em 2022.	68
Tabela 4 - Quantidade total de toneladas de AGB em cada região de interesse na AMACRO em 2010 e em 2022.	69
Tabela 5 - Quantidade total de toneladas de AGB em cada TI da AMACRO em 2010 e em 2022.....	70
Tabela 6 - Quantidade total de toneladas de AGB em cada UC Federal da AMACRO em 2010 e em 2022.	71
Tabela 7 - Quantidade de toneladas de SOC por hectare, em cada região de interesse na AMACRO em 2010 e em 2022.	72
Tabela 8 - Quantidade de toneladas de SOC por hectare, em cada TI da AMACRO em 2010 e em 2022.....	73
Tabela 9 - Quantidade de toneladas de SOC por hectare, em cada UC Federal da AMACRO em 2010 e em 2022.	74
Tabela 10 - Quantidade total de toneladas de SOC em cada região de interesse na AMACRO em 2010 e em 2021.	75
Tabela 11 - Quantidade total de toneladas de SOC em cada TI da AMACRO em 2010 e em 2021.....	76
Tabela 12 - Quantidade total de toneladas de SOC em cada UC Federal da AMACRO em 2010 e em 2021.....	77
Tabela 13 - Quantidade média de toneladas de CO ₂ e por hectare, em cada região de interesse na AMACRO em 2010 e em 2022.....	79
Tabela 14 - Quantidade média de toneladas de CO ₂ e por hectare, em cada TI da AMACRO em 2010 e em 2022.	80
Tabela 15 - Quantidade média de toneladas de CO ₂ e por hectare, em cada UC da AMACRO em 2010 em 2022.....	81
Tabela 16 - Quantidade de toneladas de CO ₂ e em cada região de interesse na AMACRO em 2010 e em 2022.....	87
Tabela 17 - Quantidade de toneladas de CO ₂ e em cada TI da AMACRO em 2010 e em 2022.	88
Tabela 18 - Quantidade de toneladas de CO ₂ e em cada UC Federal da AMACRO em 2010 e em 2022.....	90
Tabela 19 - Ganho de área agropecuária e perda de área florestal, em hectares e em porcentagem, nas regiões de interesse da AMACRO, entre 2010 e 2022. Fonte: MapBiomass, 2023.....	94
Tabela 20 - Estimativa dos valores que podem ter sido gerados nos mercados de madeira em tora e da agropecuária, com a AGB subtraída em cada região de interesse na AMACRO entre 2010 e 2022.....	104
Tabela 21 - Estimativa dos possíveis ganhos nos mercados da madeira em pé, mercado de carbono e CPR Verde, caso fosse preservado o que se perdeu de AGB em cada região de interesse na AMACRO entre 2010 e 2022.	105

Tabela 22 - Estimativa dos valores que poderiam ter sido gerados com a área não desmatada das TIs e UCs da AMACRO entre 2010 e 2022, a partir de uma linha de base de desmatamento considerando projetos REDD+ no mercado de carbono voluntário. 107

LISTA DE ABREVIATURAS

AC	Acre
AGB	Biomassa viva acima do solo, do inglês <i>Aboveground Biomass</i>
AM	Amazonas
AMACRO	Região composta pelos estados do Amazonas, Acre e Rondônia
AP	Área Protegida
BGB	Biomassa viva abaixo do solo, do inglês <i>Belowground Biomass</i>
CDB	Convenção sobre Diversidade Biológica
CIMI	Conselho Indigenista Missionário
C	Carbono
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono equivalente
CPR	Cédula de Produto Rural
CPR Verde	Cédula de Produto Rural Verde
ESA	<i>European Space Agency</i>
FUNAI	Fundação Nacional dos Povos Indígenas
GEE	Gases de efeito estufa
GHG	<i>Greenhouse gas</i>
GLAS	<i>Goescience Laser Altimeter System</i>
ha	Hectare
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICESat	<i>Ice, Cloud, and land Elevation Satellite</i>
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
IPAM	Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>)
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MMA	Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima
MODIS	<i>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer</i>
MPI	Ministério dos Povos Indígenas

Nº.	Número
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
O ₂	Oxigênio
ONU	Organização das Nações Unidas
PNAP	Plano Estratégico Nacional de Áreas Protegidas
PSA	Pagamento por Serviços Ambientais
REDD+	Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal
RO	Rondônia
SBSTA	Órgão Subsidiário de Assessoramento Científico e Tecnológico
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza
SOC	Carbono orgânico do solo, do inglês <i>Soil organic carbon</i>
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
SUDAM	Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia
t	Tonelada
tAGB	Toneladas de biomassa viva acima do solo
tAGB/ha	Toneladas de biomassa viva acima do solo por hectare
tC	Toneladas de carbono
tC/ha	Toneladas de carbono por hectare
tCO ₂ e	Toneladas de dióxido de carbono equivalente
tCO ₂ e/ha	Toneladas de dióxido de carbono equivalente por hectare
TI	Terra Indígena
tSOC	Toneladas de carbono orgânico no solo
tSOC/ha	Toneladas de carbono orgânico no solo por hectare
UC	Unidade de Conservação
UNFCCC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. MARCO TEÓRICO-POLÍTICO	22
2.1. CARBONO E A FLORESTA AMAZÔNICA.....	22
2.1.1. Mercado	23
2.1.2. Biomassa Amazônica.....	33
2.2. AMAZÔNIA, AMACRO E SUAS ÁREAS PROTEGIDAS.....	37
2.3. FERRAMENTAS DE GEOPROCESSAMENTO NA ESTIMATIVA DE BIOMASSA E CARBONO	44
3. MATERIAL E MÉTODOS	50
3.1. ÁREA DE ESTUDO	50
3.2. BIOMASSA E DIÓXIDO DE CARBONO EQUIVALENTE PARA 2010	57
3.3. BIOMASSA E DIÓXIDO DE CARBONO EQUIVALENTE PARA 2022	59
3.4. COMPARAÇÃO ENTRE 2010 E 2022 E ESTIMATIVA MONETÁRIA	61
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	65
4.1. BIOMASSA VIVA ACIMA DO SOLO	65
4.1.1. Média de Biomassa Viva Acima do Solo	65
4.1.2. Total de Biomassa Viva Acima do Solo	68
4.2. CARBONO ORGÂNICO NO SOLO.....	71
4.2.1. Média de Carbono Orgânico no Solo.....	72
4.2.2. Total de Carbono Orgânico no Solo	75
4.3. CARBONO EQUIVALENTE.....	78
4.3.1. Média de Dióxido de carbono Equivalente.....	78
4.3.2. Total de Dióxido de carbono Equivalente.....	87
4.4. 2010 A 2022: PRINCIPAIS MUDANÇAS.....	90
4.4.1. Uso do Solo pelo Dashboard do MapBiomias	91
4.4.2. Desmatamento pelo Dashboard do MapBiomias	95
4.4.3. Mudanças no Uso do Solo e Desmatamento na AMACRO pelos Dados do MapBiomias no <i>Google Earth Engine</i>	103
4.5. CUSTOS DO DESMATAMENTO.....	103
4.5.1. Estimativa monetária nos mercados de madeira em tora, madeira em pé, mercado de carbono voluntário, CPR Verde e agropecuário	103
4.5.2. Estimativa monetária no mercado de carbono voluntário em projetos REDD+	106
4.6. SÍNTESE DOS RESULTADOS	108
5. CONCLUSÃO.....	120

REFERÊNCIAS.....	125
APÊNDICE.....	143
APÊNDICE I - Estimativa dos valores que podem ter sido gerados nos mercados de madeira em tora e da agropecuária, com a AGB subtraída em cada TI da AMACRO entre 2010 e 2022.....	143
APÊNDICE II - Estimativa dos valores que podem ter sido gerados nos mercados de madeira em tora e da agropecuária, com a AGB subtraída em cada TI da AMACRO entre 2010 e 2022.....	144
APÊNDICE III - Estimativa dos valores que podem ter sido gerados nos mercados de madeira em tora e da agropecuária, com a AGB subtraída em cada UC da AMACRO entre 2010 e 2022.....	146
APÊNDICE IV - Estimativa dos possíveis ganhos nos mercados da madeira em pé, mercado de carbono e CPR Verde, caso fosse preservado o que se perdeu de AGB em cada UC da AMACRO entre 2010 e 2022.	147
APÊNDICE V - Estimativa dos valores que poderiam ter sido gerados com a área não desmatada das TIs da AMACRO entre 2010 e 2022, a partir de uma linha de base de desmatamento, considerando projetos REDD+ no mercado de carbono voluntário e CPR Verde.....	148
APÊNDICE VI - Estimativa dos valores que poderiam ter sido gerados com a área não desmatada das UCs da AMACRO entre 2010 e 2022, a partir de uma linha de base de desmatamento, considerando projetos REDD+ no mercado de carbono voluntário e CPR Verde.....	150

RESUMO

As mudanças climáticas e o aumento das concentrações de gases de efeito estufa (GEE) têm sido desafios globais nas últimas décadas. Uma solução proposta internacionalmente para mitigar esses efeitos é o mercado de carbono e os serviços ambientais resultantes da conservação dos biomas. Embora esse mercado tenha sido aprimorado desde sua proposta inicial, a falta de regulamentação, fiscalização e padronização metodológica no Brasil ainda gera incertezas, levantando questionamentos sobre quem realmente se beneficia. O Brasil, sem regulamentação oficial do mercado de carbono, atuando em projetos de caráter voluntário, possui vastas florestas que podem gerar rendimentos, especialmente a Amazônia, devido ao seu grande estoque de biomassa e carbono no solo. Entre as áreas de maior destaque está a AMACRO, acrônimo que abrange partes dos estados do Amazonas (AM), Acre (AC) e Rondônia (RO), considerada uma nova fronteira de desmatamento. O presente estudo atualizou o dataset de Baccini et al. (2012) — que estimou a biomassa viva acima do solo na região pantropical do planeta — com o uso de ferramentas de geoprocessamento gratuitas e dados do MapBiomas, permitindo calcular o estoque de carbono em 2010 e 2022 na AMACRO e suas Áreas Protegidas (Unidades de Conservação e Terras Indígenas). Os resultados indicaram que a AMACRO tinha 16.735.106.688,19 tCO_{2e} em 2010 e 15.738.941.704,89 tCO_{2e} em 2022. Com base nas diferenças de biomassa e de carbono, estimou-se um potencial ganho de US\$ 17.555.170.193,73 para madeira em tora e US\$ 1.243.219.372,86 para agropecuária para o intervalo. Os ganhos financeiros, caso o desmatamento tivesse sido evitado, foram estimados em US\$ 7.202.272.829,29 no mercado de carbono voluntário, US\$ 25.183.050.777,93 no CPR Verde e US\$ 6.179.308.652,82 no mercado da madeira em pé. Adicionalmente, uma análise simplificada utilizando a metodologia de projetos REDD+ estimou um possível ganho de US\$ 22.345.098.872,39 para as áreas de preservação da AMACRO, enquanto no CPR Verde esse valor poderia chegar a US\$ 55.708.491.415,89. O uso de ferramentas de geoprocessamento mostrou-se eficaz para estimar biomassa e carbono na AMACRO, auxiliando o desenvolvimento de estratégias de manejo sustentável e contribuindo para a regulamentação de mercados que favorecem a conservação florestal no Brasil.

Palavras-chave: AMACRO, biomassa, carbono, sensoriamento remoto, mercado de carbono, serviços ambientais.

ABSTRACT

Climate change and the increase in greenhouse gas (GHG) concentrations have been global challenges in recent decades. One internationally proposed solution to mitigate these effects is the carbon market and environmental services derived from the conservation of biomes. Although this market has been improved since its initial proposal, the lack of regulation, oversight, and methodological standardization in Brazil still creates uncertainties, raising questions about who truly benefits. Brazil, without official carbon market regulation, engages in voluntary projects and has vast forests that can generate income, especially the Amazon, due to its large biomass and soil carbon stocks. Among the areas of greatest importance is AMACRO, an acronym for parts of the states of Amazonas (AM), Acre (AC), and Rondônia (RO), considered a new deforestation frontier. This study updated the Baccini et al. (2012) dataset — which estimated aboveground biomass in the world's pantropical region — using free geoprocessing tools and data from MapBiomass, allowing the calculation of carbon stock in 2010 and 2022 in AMACRO and its Protected Areas (Conservation Units and Indigenous Lands). The results indicated that AMACRO had 16,735,106,688.19 tCO_{2e} in 2010 and 15,738,941,704.89 tCO_{2e} in 2022. Based on biomass and carbon differences, potential earnings of US\$ 17,555,170,193.73 for timber and US\$ 1,243,219,372.86 for agriculture were estimated for the period. Financial gains, if deforestation had been avoided, were estimated at US\$ 7,202,272,829.29 in the voluntary carbon market, US\$ 25,183,050,777.93 in the Green CPR, and US\$ 6,179,308,652.82 in the standing timber market. Additionally, a simplified analysis using the REDD+ project methodology estimated a possible gain of US\$ 22,345,098,872.39 for AMACRO's preservation areas, while in Green CPR projects this value could reach US\$ 55,708,491,415.89. The use of geoprocessing tools proved effective in estimating biomass and carbon in AMACRO, supporting the development of sustainable management strategies and contributing to the regulation of markets that favor forest conservation in Brazil.

Keywords: AMACRO, biomass, carbon, remote sensing, carbon market, biodiversity assets.

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas e suas consequências têm sido desafios enfrentados pela humanidade nas últimas décadas. O aumento das concentrações de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, principalmente pela intensificação da queima de combustíveis fósseis a partir da Revolução Industrial (segunda metade do século XVIII) (Kim et al., 2022), tem levado ao aumento das temperaturas médias do planeta e às mudanças climáticas (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 2023), sendo alvos de importantes discussões internacionais sobre o futuro da Terra. Uma das principais fontes de informação científica sobre a contribuição das atividades humanas na carga dos GEE na atmosfera é o Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC), criado em 1988 pela Organização das Nações Unidas (ONU).

Em seu sexto e mais recente relatório, o IPCC (2022) afirma que os impactos climáticos estão se agravando em direção a drásticas consequências como crises de perda de biodiversidade, insegurança alimentar, seca, calor extremo e aumento do nível do mar. Medidas globais urgentes são necessárias para conter as emissões de GEE e atingir a meta do Acordo de Paris, com o principal intuito de limitar o aumento da temperatura média global a menos de 2°C em relação aos níveis pré-industriais, com esforços para restringir esse aumento a 1,5°C, além de contribuir com os objetivos da Agenda 2030 da ONU. Nesse contexto, o dióxido de carbono (dióxido de carbono, CO₂) se apresenta como um GEE relevante para mitigação, como visto no compromisso firmado pelo Brasil por meio de suas Contribuições Nacionalmente Determinadas (UNFCCC, 2022), com o mercado de carbono e outros serviços ambientais se destacando como importantes ferramentas para incentivar a redução e compensação das emissões dos GEE.

A discussão sobre o mercado internacional de carbono surgiu a partir da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC, em inglês), durante a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento de 1992 (conhecida como ECO-92) (IPAM Amazônia, [s.d.]), e o Protocolo de Quioto em 1997 instituiu instrumentos para esse mercado (CGEE, 2010), permitindo que países e empresas comprem e vendam créditos de carbono para alcançar suas metas de redução de emissões de GEE, incentivando práticas mais sustentáveis. Com o Acordo de Paris, adotado em 2015, o cenário evoluiu, exigindo que todos os países apresentassem Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs) e permitindo a transferência internacional de créditos de carbono.

Paralelamente, o mercado voluntário de carbono cresceu, possibilitando que empresas e indivíduos compensassem suas emissões através da compra de créditos gerados por projetos de mitigação.

Embora tenha sido aprimorado e expandido desde sua proposta, a falta de regulamentação, fiscalização e padronizações metodológicas do mercado de carbono ainda geram incertezas e brechas significativas. Além disso, há relatos de concentrações de benefícios em países, empresas e instituições financeiras, com poucos benefícios para países menos desenvolvidos, comunidades locais e populações tradicionais que são, por vezes, exploradas, como observado no mercado de carbono brasileiro (Silva, 2022). Além do Mercado de Carbono, o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) também se configura como um mecanismo de mercado que, além de ser um instrumento de realização de políticas ambientais, atua como ferramenta jurídica para beneficiar produtores rurais que preservam o meio ambiente (DE SOUZA, 2022).

O PSA foi instituído pela Lei N° 14.119, de 13 de janeiro de 2021 (Brasil, 2021), e é uma forma de incentivo por remuneração pela conservação e desenvolvimento sustentável de natureza voluntária (Câmara dos Deputados, 2021). Um exemplo de PSA é a Cédula de Produto Rural (CPR) Verde, que é um instrumento que surgiu em 2021 como um incentivo para produtores rurais exercerem atividades de serviços ambientais relacionadas à conservação de florestas e recuperação da vegetação nativa que agreguem à redução de emissões de GEE (MAPA, 2022), na forma de título de crédito para financiar atividades de preservação ambiental em propriedades rurais (DE SOUZA, 2022), regulamentada pelo Decreto N° 10.828, de 1° de outubro de 2021 (Brasil, 2021). Juntamente com o mercado de crédito de carbono, esses instrumentos, apesar de diferentes entre si, integram o mesmo sistema e possuem a mesma finalidade de incentivar a produção rural sustentável e a preservação da natureza (DE SOUZA, 2022).

Nesse sentido, as áreas protegidas, que englobam, além de outras, Unidades de Conservação Federais e Terras Indígenas, têm papel fundamental na manutenção da floresta em pé. Essas áreas, em casos em que o uso sustentável de seus territórios é permitido, são importantes para comunidades que fazem uso do território para sua subsistência, com exemplos de práticas históricas que apresentam sustentabilidade e aspectos de conservação e desenvolvimento (Calegare et al., 2014). A possibilidade de desenvolvimento econômico para essa população a partir de práticas que gerem ativos pela manutenção da floresta em pé

(IPAM, 2023), aliada ao papel da preservação das florestas no clima mundial, configura-se como uma importante demanda nos tempos atuais.

Para estimular a preservação ambiental, a sustentabilidade na produção rural e subsidiar a regulação do mercado de carbono brasileiro, é necessário fortalecer sua transparência e funcionamento. Esse fortalecimento deve garantir que o mercado se torne um instrumento verdadeiramente sustentável, tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico.

É essencial integrar as políticas de conservação ambiental com as políticas sociais, como programas de geração de renda para as comunidades locais e áreas de preservação. Além disso, devem ser estabelecidas metodologias eficientes, calibradas e viáveis para quantificações precisas do que pode ser comercializado em forma de crédito ou ativos no mercado de carbono. Outro ponto importante é o foco estratégico nas questões de desmatamento e degradação ambiental, como sugerido nos estudos de Matricardi et al. (2020), Silva Júnior et al. (2021), Lapola et al. (2023) e Albert et al. (2023).

Nesse sentido, foco dos olhares mundiais acerca de sua relevância em serviços ecossistêmicos e ambientais, a Amazônia é uma das maiores florestas tropicais do mundo e um importante sumidouro de carbono atmosférico, armazenando grandes quantidades de carbono em sua biomassa viva acima do solo (Piva et al., 2021; Souza, 2012; Higa et al., 2012) e no próprio solo em si. A biomassa da Amazônia é de extrema importância para o mercado de carbono e para serviços ambientais de conservação, tanto brasileiros quanto mundiais: a Floresta Amazônica armazena grandes quantidades de carbono, e a preservação e o manejo sustentável desse ecossistema podem gerar créditos de carbono e outros serviços ambientais.

Estudos como os de Cassol et al. (2021), Yang (2018) e Pereira (2018) demonstram o potencial da biomassa amazônica como um sumidouro de carbono, destacando a importância de políticas e mecanismos adequados para valorizar esse potencial no mercado de carbono e de serviços ambientais. Baccini et al. (2012), estimaram para 2010 um estoque de 53,2 gigatoneladas de C (GtC) para todas as florestas brasileiras. Piva et al., 2021, utilizando o método *bootstrap* de reamostragem para estimativas de biomassa e carbono no bioma amazônico, a partir de dados de inventários florestais desenvolvidos pelo Projeto RADAMBRASIL, estimaram uma composição total dos estoques de biomassa e carbono no bioma de aproximadamente 163 toneladas por hectare (t/ha) de Biomassa Viva Acima do Solo (AGB - da sigla em inglês *Aboveground Biomass*) para Floresta Densa. Albert et al.

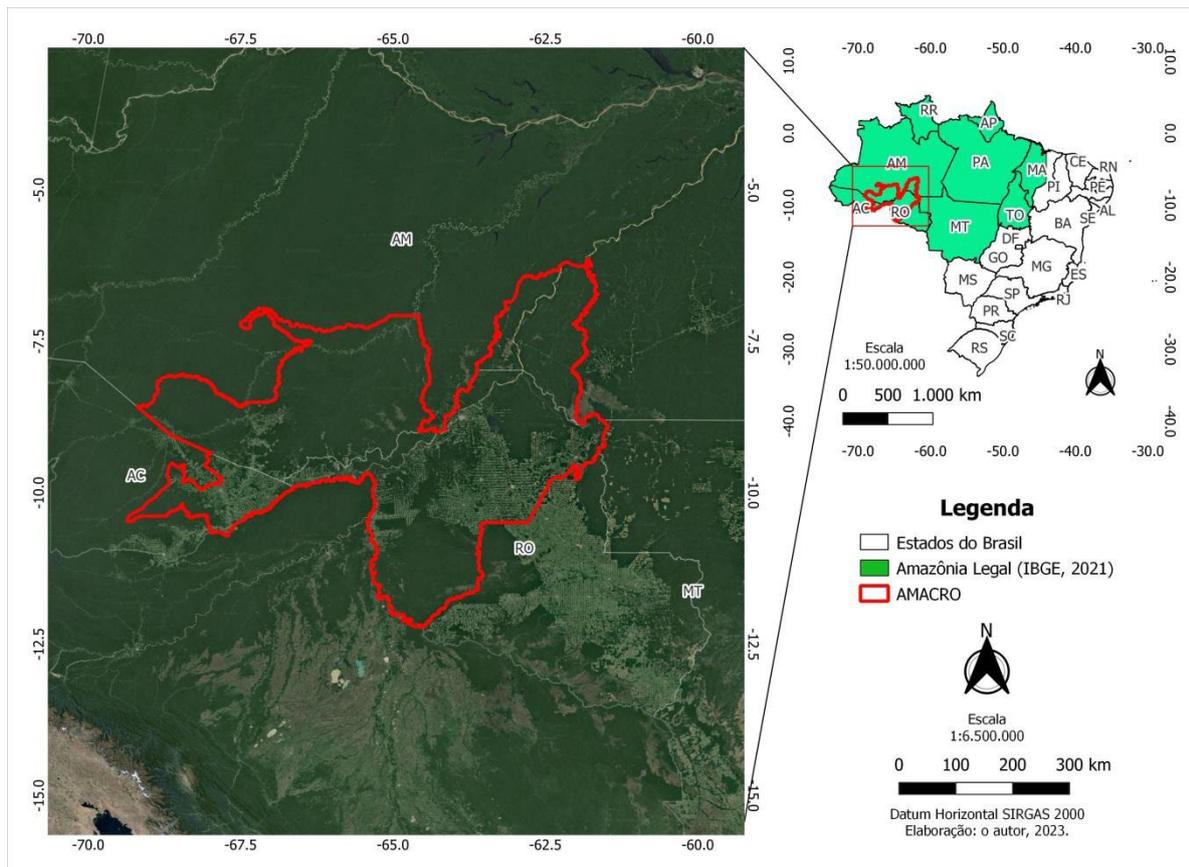
(2023) afirmam que as florestas e solos amazônicos contêm cerca de 180 ± 30 GtC, onde aproximadamente metade (90 ± 30 GtC) está estocada em forma de biomassa vegetal, e a outra metade no solo.

Em relação ao solo, Trumbore & Camargo (2009) afirmam que a quantidade de carbono estocada na camada superior a 1 metro em solos minerais na Bacia Amazônica representa cerca de 3% do estoque global de carbono no solo. O MapBiomas (2023), em um levantamento de carbono orgânico do solo (SOC, do inglês *soil organic carbon*) no Brasil para o ano de 2021, afirma que a Amazônia possui o maior estoque de SOC do país, com um total de 19,8 bilhões de toneladas e média de 48 toneladas/hectare (t/ha) no bioma.

Em termos monetários, Diaz et al. (2002) destacam que, em anos influenciados pelo fenômeno El Niño, como 1998, as emissões de CO₂ causadas por incêndios florestais na Amazônia resultaram em possíveis perdas monetárias estimadas entre US\$ 126 milhões e US\$ 9.446 bilhões e, em anos sem El Niño, como 1995, as perdas de oportunidades com a preservação variaram de US\$ 10 milhões a US\$ 572 milhões. Essa ampla variação deve-se às incertezas no mercado de carbono e na estimativa dos estoques de carbono nas florestas, onde o valor monetário das emissões de CO₂ é altamente influenciado pela metodologia utilizada para seu cálculo e pelas condições políticas e acordos internacionais. Por esse potencial, o Brasil tem sido pressionado a adotar medidas mais ambiciosas de redução de emissões de GEE, especialmente em relação ao desmatamento na Amazônia, uma das principais fontes de emissões de GEE no país (Gatti et al., 2021).

O Relatório Anual de Desmatamento no Brasil (RAD) de 2022 (MapBiomas, 2023) destaca uma região que abrange a divisa dos Estados amazônicos do Amazonas (AM), Acre (AC) e Rondônia (RO), chamada de AMACRO (Mapa 1), como a nova fronteira do desmatamento na Amazônia, com 11,3% da área desmatada do Brasil presente na área em 2022. O levantamento histórico do MapBiomas para a área desmatada na região da AMACRO mostra um aumento de 226.881 ha em 2019, 231.681 ha em 2020, 330.660 ha em 2021 e 390.187 ha em 2022, seguido por uma redução de 73,6% em 2023 em relação a 2022, totalizando 102.956 ha em 2023, conforme o RAD 2023 (MapBiomas, 2024).

Mapa 1 - Localização da AMACRO no Brasil.



Com grande potencial de aumento das emissões de GEE (Silva et al., 2022), a AMACRO se configura como um importante foco para olhares estratégicos acerca de alternativas que contenham a mudança do uso do solo, visando um desenvolvimento econômico aliado com práticas sustentáveis. Assim, a AMACRO é a área alvo da presente pesquisa, por ser uma região caracterizada pela expansão agropecuária e que se tornou um relevante alvo de pressão de desmatamento em alertas emitidos pelo MapBiomias de 2019 a 2022.

Para possibilitar estimativas atualizadas do carbono estocado na Amazônia, em particular na região da AMACRO e suas áreas protegidas (APs), existem ferramentas capazes de quantificar o carbono em estruturas florestais. Como a quantificação da biomassa *in loco* é uma prática habitual, porém onerosa quando, por vezes, não é possível ou viável de ser aplicada em locais remotos (como a Floresta Amazônica), uma possível solução é o uso de ferramentas de sensoriamento remoto, que permitem a quantificação à distância, desde que calibradas com os resultados de inventários florestais e uso do solo.

Ferramentas de sensoriamento remoto são importantes para monitorar e analisar mudanças na vegetação, no uso da terra e no meio ambiente em geral, permitindo mapear a

cobertura vegetal, áreas inundadas, deslizamentos de terra e estimar a quantidade de carbono armazenado em diferentes tipos de florestas, como vistos nos estudos de Lu et al. (2023), David et al. (2022), Georgopoulos et al. (2022) e Baccini et al. (2012). A pesquisa de Baccini et al. (2012), em particular, teve como objetivo melhorar a precisão das estimativas de emissões de dióxido de carbono (CO₂) provenientes do desmatamento tropical, utilizando dados de inventários florestais de 2008 a 2010 e imagens de satélite de 2000 a 2010 para criar mapas de densidade de carbono florestal e de AGB. Os resultados obtidos para 2010 mostraram que o Brasil e a Indonésia contêm 35% do total de carbono armazenado nas florestas tropicais do mundo e produzem as maiores emissões por perda florestal, sendo estimado que as florestas do Brasil armazenem cerca de 53 bilhões de toneladas de carbono. Uma atualização da base de dados desse estudo para períodos mais recentes é viável a partir de imagens e dados recentes, tais como os disponibilizados pelo projeto MapBiomass acerca dos desmatamentos, uso e cobertura da terra e carbono orgânico no solo.

Nesse sentido, a base de dados de Baccini et al. (2012), que mapeou a biomassa viva acima do solo na região pantropical do planeta para o ano de 2010, e os *dashboards* de monitoramento de desmatamento e uso e cobertura do solo do projeto MapBiomass, foram as bases de dados alvo do presente estudo para a avaliação da região da AMACRO e suas APs no potencial do mercado de carbono e serviços ambientais. A partir dos dados de AGB mapeados por Baccini et al. (2012) para 2010, foram estimados os componentes de biomassa abaixo do solo (BGB - da sigla em inglês *Belowground Biomass*), madeira morta e serapilheira que, combinados com os dados do MapBiomass para SOC, formam os cinco componentes do carbono nas florestas (SNIF, 2020) e serviram como base para estimar as toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO₂e) presentes na região da AMACRO. Portanto, o carbono nas florestas se encontra nos seguintes componentes:

- AGB: componente vegetal, composto por troncos, galhos, copa, sementes e folhas;
- BGB: componente vegetal, composto por raízes vivas, com diâmetros maiores que dois milímetros;
- Madeira Morta: componente vegetal, composto por biomassa lenhosa morta, incluindo madeira caída no solo, raízes mortas e galhos com diâmetros superiores a dez centímetros;

- Serapilheira: componente vegetal, composto por biomassa morta com diâmetro inferior a dez centímetros, em vários estágios de decomposição por cima do solo mineral ou orgânico;
- Solo: composto por solos minerais e orgânicos.

Com base nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo atualizar os dados obtidos por Baccini et al. (2012) na região da AMACRO, do ano de 2010 para o ano de 2022, utilizando dados recentes de imagens de satélites, disponibilizados pelo MapBiomass, para observar as regiões desmatadas e estimar a quantidade de carbono emitido e a quantidade ainda restante na região como potencial ativo para o mercado de carbono. Os resultados obtidos nessa atualização serão somados às quantidades de carbono estocado no solo, disponibilizados pelo MapBiomass (2023) para o ano de 2021, permitindo uma análise geral da quantidade de carbono estocado em biomassa viva acima do solo e no próprio solo da AMACRO. Além disso, o estudo irá fazer a mesma quantificação para as áreas protegidas da região, com foco nas Unidades de Conservação Federais (UC) e Terras Indígenas (TI), ressaltando seus potenciais em termos de carbono em um eventual cenário de regulamentação do mercado de carbono no Brasil. Por fim, busca-se estimar o valor monetário associado às perdas de biomassa e de carbono na região da AMACRO entre os anos de 2010 e 2022, em termo dos mercados de madeira em tora, agropecuária, madeira em pé, mercado de carbono e de pagamentos por serviços ambientais, na figura do CPR Verde.

A atualização dos dados de AGB obtidos por Baccini et al. (2012) para a região da AMACRO, foi feita utilizando dados de sensoriamento remoto recentes por meio de ferramentas de geoprocessamento gratuitas, para observar as regiões desmatadas e estimar a quantidade de carbono emitido e a quantidade ainda restante na região como potencial ativo para o mercado de carbono e serviços ambientais, comparando o estado inicial da região em 2010 (ano da base de dados) e o estado calculado para 2022 (ano mais recente com dados disponíveis de uso e cobertura do solo do MapBiomass). Os resultados obtidos nessa atualização foram somados às quantidades de carbono estocado no solo, disponibilizados pelo MapBiomass (2022) para os anos de 2010 e de 2021, permitindo uma análise geral da quantidade de carbono estocado na AMACRO composta pelas cinco componentes do carbono nas florestas. Além disso, o estudo realizou a mesma quantificação para as áreas protegidas da região, com foco nas Unidades de Conservação Federais (UC) e Terras Indígenas (TI), verificando sua importância no estoque de carbono e preservação das florestas.

Por fim, os resultados de 2022 foram comparados com os de 2010, permitindo verificar a AGB, o tCO₂e e a área, perdidos pelo desmatamento na região da AMACRO. Esses resultados subsidiaram as estimativas de possíveis valores monetários de atividades subsequentes ao desmatamento acumulado no período, estimados no mercado madeireiro, na geração de créditos de carbono voluntário e de serviços ambientais de conservação de biomas, e no custo de oportunidade do mercado agropecuário, permitindo uma avaliação econômica do desmatamento observado na AMACRO entre 2010 e 2022.

A escolha da região amazônica da AMACRO e suas áreas protegidas para o presente estudo se justifica pela importância da Amazônia na regulação climática global e pela sua vasta biodiversidade. A Floresta Amazônica desempenha um papel fundamental no sequestro de carbono, contudo, enfrenta ameaças antrópicas crescentes, como o desmatamento e a mudança do uso do solo, que afetam negativamente seus ecossistemas. A relevância deste estudo está na necessidade urgente de desenvolver mecanismos para conter essas pressões, além de inovações em procedimentos tecnológicos e metodológicos que permitam avaliar o estoque de carbono da região amazônica, principalmente em áreas críticas como a AMACRO, enquanto se busca alternativas econômicas sustentáveis, como o mercado de carbono e o pagamento por serviços ambientais.

2. MARCO TEÓRICO-POLÍTICO

A presente seção passará pela relação do carbono e a Floresta Amazônica, pela apresentação da região da AMACRO e suas áreas protegidas, e pelo uso de ferramentas de geoprocessamento na estimativa de biomassa e carbono.

2.1. CARBONO E A FLORESTA AMAZÔNICA

A compreensão do ciclo do carbono, dos GEE e do papel do carbono nas mudanças climáticas é fundamental para desenvolver estratégias efetivas de mitigação do fenômeno de concentração dos GEE na atmosfera terrestre.

O ciclo do carbono é fundamental para a manutenção da vida na Terra, envolvendo a transformação e movimentação de carbono entre a atmosfera, a biosfera e os oceanos. Nas florestas, este ciclo é especialmente importante devido à capacidade das árvores de sequestrar carbono atmosférico por meio da fotossíntese. Durante a fotossíntese, as plantas absorvem dióxido de carbono (CO_2) e, utilizando a energia solar, convertem-no em compostos orgânicos, liberando oxigênio (O_2) como subproduto (Watzlawick et al., 2009). Esse carbono se acumula na biomassa das plantas, compondo uma parte significativa da estrutura vegetal (Watzlawick et al., 2009).

O solo também desempenha um papel importante no ciclo do carbono. A matéria orgânica, composta por restos de plantas e animais, é decomposta por microrganismos, liberando gases como CO_2 , metano e óxidos de nitrogênio, que contribuem para o efeito estufa (Pulrolnik, 2009; Trumbore e Camargo, 2009). A fotossíntese das plantas captura CO_2 da atmosfera, e os microrganismos do solo dependem do carbono gerado por esse processo para sobreviver. A decomposição envolve três etapas: lixiviação, catabolismo e fragmentação, na qual a primeira etapa remove materiais solúveis pela água, o catabolismo transforma componentes orgânicos em unidades simples, e a fragmentação reduz as partículas em pequenos detritos, facilitando a colonização microbiana (Pulrolnik, 2009). Os solos da Amazônia, especificamente, apresentam características únicas, como solos com altos teores de matéria orgânica estabilizada, indicando um grande potencial de armazenamento de carbono (Woods, 2003).

A importância do carbono nas mudanças climáticas também está relacionada à capacidade dos ecossistemas de absorver e armazenar carbono (Giongo et al., 2011): as florestas, por exemplo, desempenham um papel crucial na remoção do CO_2 da atmosfera por meio da fotossíntese e do armazenamento do elemento carbono (C) em sua biomassa. No

entanto, o desmatamento e a degradação florestal têm reduzido a capacidade dos ecossistemas de atuarem como sumidouros de carbono, contribuindo para o aumento das concentrações atmosféricas de GEEs (López Caracena, 2019). A estabilização das concentrações atmosféricas de carbono é essencial para evitar cenários climáticos desastrosos e proteger os ecossistemas e as comunidades humanas, fato que estimulou as discussões sobre a criação de um mercado internacional de carbono.

2.1.1. Mercado

A discussão sobre o mercado internacional de carbono surgiu a partir da UNFCCC, durante a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento de 1992, conhecida como ECO-92 (IPAM Amazônia, [s.d.]), e o Protocolo de Quioto em 1997 instituiu instrumentos para esse mercado (CGEE, 2010), permitindo que países e empresas comprem e vendam créditos de carbono para alcançar suas metas de redução de emissões de GEE, incentivando práticas mais sustentáveis.

Sob as diretrizes do Protocolo de Quioto, que expirou em 2012, o mercado internacional de carbono foi estruturado principalmente em volta do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). O MDL permitia que países desenvolvidos atingissem suas metas de redução de emissões investindo em projetos de mitigação em países em desenvolvimento, dentro de sistemas *cap-and-trade*, onde um limite máximo de emissões era definido e empresas podiam negociar permissões de emissão (Kanda e Carvalho, 2023). Esse mecanismo incentivava a transferência de tecnologia e recursos financeiros, promovendo a adoção de práticas sustentáveis com o objetivo de reduzir emissões globais de GEE.

Por outro lado, foi criado o mecanismo de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal (REDD+) como uma resposta direta ao desmatamento e à degradação florestal, atividades responsáveis por uma parte significativa das emissões globais de GEE. Sua proposta foi introduzida oficialmente durante a COP 11, em 2005, e, posteriormente, explorada por meio de propostas ao Órgão Subsidiário de Assessoramento Científico e Tecnológico (SBSTA). Na COP 13 de 2007, o Plano de Ação de Bali consolidou o REDD+ como uma abordagem política e de incentivos para a mitigação climática, com foco na redução do desmatamento. O REDD+ foi reconhecido como uma ferramenta que não apenas reduz emissões, mas também combate a pobreza rural, conserva a biodiversidade e sustenta serviços ambientais vitais (Parker et al., 2009).

A inclusão do REDD+ no marco pós-2012 foi considerada essencial, com as negociações avançando até a COP 15, em Copenhague, em 2009, onde o mecanismo foi incorporado nas estratégias globais de mitigação climática. Esse processo culminou no Acordo de Paris em 2015, onde o REDD+ se consolidou como um componente central. O objetivo do REDD+ passou a ser o incentivo a países em desenvolvimento para que preservassem suas florestas e aumentassem seus estoques de carbono, oferecendo compensações financeiras àqueles que evitassem o desmatamento e a degradação, promovendo a conservação e o manejo sustentável das florestas para mitigar as emissões de GEE (Silva, 2022).

Com a adoção do Acordo de Paris, o contexto do mercado de carbono começou a mudar. O Acordo estabeleceu que todos os países, desenvolvidos e em desenvolvimento, deveriam apresentar suas Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs), delineando as metas de redução de emissões que pretendem alcançar. O Artigo 6 do Acordo de Paris introduziu novas abordagens de mercado, permitindo que países cooperassem na implementação de suas NDCs através da transferência internacional de resultados de mitigação, como créditos de carbono. Essa flexibilidade proporcionou uma oportunidade para que nações se beneficiassem mutuamente de seus esforços de mitigação, promovendo um sistema mais interconectado e colaborativo para enfrentar as mudanças climáticas. Além dos mecanismos regulados, que operam principalmente por sistemas *cap-and-trade*, como o Sistema de Comércio de Emissões da União Europeia (EU-ETS) e o programa de *cap-and-trade* da Califórnia, o mercado voluntário de carbono também ganhou destaque, principalmente no Brasil, permitindo que empresas e indivíduos compensem suas emissões através da compra de créditos gerados por projetos que reduzem ou removem GEE. O mercado voluntário envolve a compra de créditos por empresas ou indivíduos para neutralizar emissões, mesmo sem obrigações legais, sendo, no Brasil, a redução das emissões por REDD+, voltado para a conservação florestal, fundamental no mercado voluntário, permitindo que créditos de desmatamento evitado sejam comercializados, podendo ser a ferramenta chave para o mercado regulado brasileiro.

Os projetos REDD+ são, em sua maioria, de caráter voluntário, com certificadoras validando esses projetos para garantir sua integridade e eficácia. Um exemplo dessa abordagem é a metodologia VM0015, da empresa Verra, que estabelece critérios para a contabilidade de carbono em projetos de Evitação de Desmatamento Não Planejado (AUD). Para calcular os créditos de carbono por REDD+, é essencial considerar diversos fatores, como a linha de base de emissões, que define as emissões esperadas na ausência do projeto; a

medição das reduções de emissões alcançadas em relação a essa linha de base; e a avaliação dos efeitos de vazamento, que se refere ao deslocamento das emissões para fora da área do projeto, seja devido ao deslocamento de atividades ou mudanças no uso da terra. Além disso, devem ser levadas em conta as interações entre os diferentes usos da terra, as práticas de manejo, e as características sociais e econômicas da região, que podem influenciar tanto a implementação do projeto quanto os resultados de conservação. Outro aspecto relevante na aplicação da metodologia VM0015 é a avaliação dos fluxos anuais de carbono, que possibilita uma análise mais precisa das flutuações nas taxas de desmatamento e emissões ao longo do tempo.

Comparativamente, os mercados de carbono internacionais apresentam diferentes características e abordagens. Por exemplo, o EU-ETS é o maior mercado de carbono do mundo, abrangendo diversos setores e países membros da União Europeia, valorizando projetos que mantêm as florestas em pé (Levine, 2023). No contexto do Brasil, o país enfrenta desafios em relação à falta de legislação e metodologias específicas, dificultando a participação plena do país no mercado de carbono internacional, sendo atualmente uma iniciativa voluntária. Propostas de marco regulatório para o mercado de carbono brasileiro são vistas em ações como a do Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS, 2021) e o Projeto de Lei (PL) 412/2022 que atualmente tramita no governo do país para regulamentar o Mercado Brasileiro de Redução de Emissões (MBRE) e estabelecer regras para o mercado regulado de carbono no âmbito do Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE), além de demais PLs que tratam de alguma forma sobre o mercado de carbono, conforme Quadro 1. Outros mercados relacionados a estruturas florestais, como o mercado madeireiro, confrontam a possibilidade de obter créditos a partir da conservação de florestas.

Quadro 1 - Projetos de Lei que tratam sobre o mercado de carbono, tramitando no Brasil.

Projeto de Lei	Ementa
PL 2.148/2015	Institui o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE); e altera as Leis nºs 12.187, de 29 de dezembro de 2009, 12.651, de 25 de maio de 2012 (Código Florestal), 6.385, de 7 de dezembro de 1976, 11.033, de 21 de

	dezembro de 2004, e 6.015, de 31 de dezembro de 1973 (Lei de Registros Públicos).
PL 10.073/2018	Estabelece redução de IPI para produtos adequados à economia verde de baixo carbono.
PL 5.710/2019	Determina a obrigatoriedade de elaboração de Planos de Neutralização de Carbono, visando a redução e compensação das emissões de gases de efeito estufa gerados pelas atividades da Administração Pública Direta e Indireta.
PL 290/2020	Dispõe sobre a compensação ambiental da geração de energia elétrica e a certificação de créditos de carbono para empreendimentos de geração por fontes alternativas.
PL 528/2021	Regulamenta o Mercado Brasileiro de Redução de Emissões (MBRE), determinado pela Política Nacional de Mudança do Clima – Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009.
PL 4.290/2023	Institui o mercado brasileiro de serviços ambientais e a sua regulação.
PL 4.088/2021	Institui o Estatuto do Carbono Verde que dispõe sobre a regulamentação do Mercado Brasileiro de Redução de Emissões (MBRE) no âmbito dos povos tradicionais, do agronegócio e ecossistemas costeiros, determinado pela Política Nacional de Mudança do Clima - Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, em conformidade com o Acordo de Paris sob a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, inter alia.

PL 155/2023	Dispõe sobre a compensação ambiental da geração de energia elétrica e a certificação de créditos de carbono para empreendimentos de geração por fontes alternativas.
PL 412/2022	Institui o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE) e altera as Leis nºs 12.187, de 29 de dezembro de 2009, 12.651, de 25 de maio de 2012, e 6.385, de 7 de dezembro de 1976.
PL 2.122/2021	Institui o marco regulatório para ativos financeiros associados a mitigação das emissões de gases de efeito estufa.
PL 3.606/2021	Institui o marco regulatório para o Mercado Brasileiro de Redução de Emissões (MBRE).
PL 4.028/2021	Dispõe sobre diretrizes gerais para regulamentação do mercado de carbono no Brasil.
PL 1.684/2022	Dispõe sobre a regulamentação do Mercado Brasileiro de Redução de Emissões (MBRE) previsto pela Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, que instituiu a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências.
PL 5.157/2023	Dispõe sobre o direito a participação na Comercialização de Créditos de Carbono em áreas ocupadas por agricultura familiar e pequenos proprietários rurais.
PL 412/2022	Institui o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE) e altera as Leis nºs 12.187, de 29 de dezembro de 2009, 12.651, de 25 de maio de 2012, e 6.385, de 7 de dezembro de 1976.

Chules (2018) salienta que, atualmente, a floresta brasileira é fortemente utilizada no mercado madeireiro, ressaltando os estímulos da derrubada de florestas ao invés de práticas que incentivem a mantê-las em pé. Nesse sentido, Diaz et al. (2002) destacam que o valor da madeira no mercado madeireiro é influenciado pela quantidade de biomassa presente na floresta. No caso da Floresta Amazônica, por exemplo, possuem diferentes estimativas de biomassa, variando de 121 a 397 toneladas de biomassa por hectare em áreas de floresta ombrófila densa, e de 165 a 310 toneladas de biomassa por hectare em áreas de floresta ombrófila aberta e o preço da madeira, portanto, depende da densidade de biomassa e da acessibilidade das áreas florestais para exploração. Em comparação, conforme Diaz et al. (2002), no mercado de carbono voluntário as emissões evitadas ou sequestradas de carbono são monetizadas, oferecendo um incentivo financeiro para a conservação florestal, sendo a precificação do carbono uma ferramenta potencialmente crucial para compensar os custos ambientais e econômicos dos incêndios e desmatamentos florestais, promovendo a conservação da Amazônia, por exemplo.

Em termos monetários, Diaz et al. (2002) afirmam que o valor da madeira comercializada após incêndios florestais na Amazônia foi estimado em US\$ 5 por hectare de árvores adultas com valor de mercado, com base em estudos na região de Paragominas (Pará), considerando a mortalidade de árvores comerciais e o preço que as serrarias pagariam aos fazendeiros. Já o preço do carbono no mercado de carbono voluntário, segundo os autores, pode variar significativamente, com estimativas indicando um intervalo entre US\$ 3,5 e US\$ 20 por tonelada de carbono, dependendo dos modelos e cenários utilizados para a simulação de preços no contexto dos mecanismos do Protocolo de Kyoto, intervalo que reflete a incerteza e a variabilidade do mercado de carbono devido às condições políticas e negociações internacionais.

Estudos sobre o mercado de madeira na Amazônia revelam complexidades na valoração deste recurso. Segundo o Sistema de Contas Econômicas Ambientais (2016), as florestas são frequentemente avaliadas em termos de recursos madeireiros, levando em consideração o seu volume de madeira em pé, mas os recursos oriundos das florestas são utilizados para a produção de uma grande variedade de produtos e, assim, florestas e recursos madeireiros não devem ser tratados como um mesmo bem.

Nesse sentido, Batista et al. (2021) discutem a relação entre os preços da madeira em tora (PMT) e da madeira em pé (PMP) onde, no estado do Pará, por exemplo, a partir da equação

proposta por Santana et al. (2010) para determinar o PMP, observam que, para o ano de 2010, R\$ 27,20/m³ foi o PMP identificado como justo em contratos de transição do Instituto de Desenvolvimento Florestal e da Biodiversidade do Estado do Pará, enquanto para contratos de concessão do Serviço Florestal Brasileiro no Pará o PMP era de R\$ 44,12/m³. Os autores revelam que, em assentamentos como o Projeto de Desenvolvimento Sustentável Virola-Jatobá, na Transamazônica (PA), a valoração da madeira em pé envolveu custos de produção de R\$ 115,88/m³, resultando em um PMP de R\$ 67,60/m³ a partir de um PMT de R\$ 183,48/m³. Para 2018, Batista et al. (2021) relatam que a média do PMP nas concessões florestais no estado do Pará era de R\$ 68,84/m³, com variação entre R\$ 22,50/m³ e R\$ 138,52/m³. Conforme o Imazon (2010), o preço médio da madeira em tora na Amazônia, em julho de 2010, foi de R\$ 228/m³, com Belém (Pará) alcançando o maior preço médio da região com R\$ 359/m³ e Costa Marques (Rondônia) com o menor preço médio de R\$ 162/m³. O Fórum Empresarial de Inovação e Desenvolvimento do Acre (2024), relata que entre 1994 e 2020, foi observado um preço médio anual ponderado de R\$ 195,60/m³ de madeira em toras na Amazônia Legal, produto da extração sob manejo florestal sustentável, com o menor preço médio observado em 1997 com R\$ 136,10/m³ e o maior preço médio observado em 2011 com R\$ 324,90/m³.

Em relação ao carbono, Nogueira et al. (2007) afirmam que as estimativas de biomassa acima do solo das florestas tropicais são responsáveis pela maioria dos erros no balanço de carbono dessa região, sendo a densidade da madeira é uma importante variável para aperfeiçoar as estimativas de estoque de carbono e de emissões de gases de efeito-estufa por desmatamento ou quando a floresta é convertida para outros usos. As emissões de carbono por desmatamento da Amazônia devem ser determinadas pela biomassa daquelas florestas que estão sendo desmatadas, não exatamente pela biomassa média da região (Nogueira et al., 2007). Assim, os autores destacam que diversos estudos de estoque e emissão de carbono para a Amazônia foram baseados em dados de regiões fora do ‘arco do desmatamento’ que, à época (2007), era o maior foco de desmatamento da Amazônia.

Nesse sentido, Nogueira et al. (2007) concluem que, para a Amazônia brasileira como um todo, a densidade de madeira média estimada por Fearnside (1997) deve ser diminuída em 7%, para 0,642 g/cm³, e que para a densidade da madeira média ponderada pelo volume desmatado em 1990 em cada tipo de floresta o valor é de 0,631 g/cm³. Ressalta-se que os resultados impactam sobre as estimativas de biomassa e sobre as emissões de carbono, pois florestas que sofreram bastante desmatamento são justamente onde o ajuste de densidade é

necessário. Assim, os dados obtidos por Nogueira et al. (2007) ajudam a reduzir incertezas em vários estudos anteriores de biomassa e no balanço de carbono para a Amazônia, principalmente para áreas desmatadas.

Em relação ao mercado madeireiro, o mercado de carbono, em específico, tem ganhado importância na mitigação das mudanças climáticas globais. Kanda e Carvalho (2023) analisam a precificação do carbono e a sua projeção utilizando modelos de aprendizado de máquina, afirmando que no Brasil, o volume de créditos de carbono emitidos por ativos ambientais de origem florestal cresceu de 3 MtCO₂ para 15 MtCO₂ entre 2019 e 2020. Os autores apresentam que a precificação direta do carbono pode ocorrer via tributos sobre o carbono, sistemas de comércio de emissões ou mecanismos de crédito de carbono, sendo a última uma forma de gerar receita por atividades de redução de emissões. Os autores ressaltam que o potencial da Amazônia em armazenar carbono torna o Brasil um potencial protagonista no mercado global de créditos de carbono, tornando-se atrativo a investimentos que poderiam reduzir desmatamento e os focos de queimadas, além de promover o desenvolvimento econômico e social na região amazônica.

A agropecuária na Amazônia, por sua vez, é outro fator relevante que frequentemente é citada como uma das principais causas do desmatamento na região e, conseqüentemente, apresenta um custo de oportunidade significativo para a conservação do carbono florestal. Alves e Diniz (2020) discutem a valoração do custo de oportunidade do desmatamento, que envolve a renúncia ao uso produtivo da terra em prol da conservação do carbono. Os autores analisam que a atividade agropecuária na Amazônia não só pressiona os preços da madeira para baixo, devido à expansão de terras agrícolas, mas também impacta diretamente as emissões de CO₂, uma vez que o desmatamento é responsável por uma parte significativa das emissões na região. O custo de oportunidade médio do uso da terra na região amazônica, apresentado por Alves e Diniz (2020), é estimado em US\$ 589,27 por hectare: as áreas mais caras para uso agrícola estão em Rondonópolis, Mato Grosso, com um valor de US\$ 3.197,29 por hectare, enquanto as mais baratas estão em Macapá, Amapá, com US\$ 12,61 por hectare para pastagem nativa.

No que diz respeito ao carbono florestal, apesar das perdas significativas de áreas de floresta, a região ainda detinha um estoque de carbono considerável em 2005 (Alves e Diniz, 2020). As emissões de carbono decorrentes do desmatamento foram significativas, totalizando cerca de 1,3 bilhões de toneladas, estimando-se que o estoque líquido de carbono

na região amazônica fosse de aproximadamente 208,5 GtC em 2005. Os créditos de carbonos transacionados no mercado regulado europeu e em outros mercados criados por lei totalizaram US\$ 2,7 bilhões em 2005, a um preço médio de US\$ 7,23 por tonelada com os benefícios líquidos associados ao estoque de carbono na Amazônia estimados em US\$ 1,5 trilhões ou US\$ 50 mil por hectare por Alves e Diniz (2020). No mercado de carbono voluntário, o Ecosystem Marketplace, uma plataforma online que fornece informações sobre mercados, pagamentos e finanças ambientais, estima que a média do valor do crédito de carbono em projetos de REDD+ em 2022 foi de US\$ 10,14.

Assim, Alves e Diniz (2020) concluem que o custo de oportunidade do desmatamento, calculado a uma taxa de desconto de 2%, foi estimado em US\$ 30,9 trilhões para a região amazônica. Este custo varia entre os estados da região, sendo superior aos benefícios das alternativas de uso produtivo da terra em todos os estados, exceto no Amapá. No Amapá, o valor do uso direto da terra excede o valor do carbono, indicando um desincentivo para práticas sustentáveis. No entanto, nos demais estados, o benefício da conservação florestal supera o custo de oportunidade dos usos produtivos, sugerindo que a manutenção da floresta em pé é economicamente vantajosa, concluindo que a conservação da Floresta Amazônica oferece benefícios financeiros significativos, superando o custo social imposto pelo desmatamento.

Além do Mercado de Carbono, a Cédula de Produto Rural (CPR) Verde e o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), também se configuram como mecanismos de mercado que, além de serem instrumentos de realização de políticas ambientais, atuam como ferramentas jurídicas para beneficiar produtores rurais que optem por manter a floresta em pé (DE SOUZA, 2022).

O PSA foi instituído pela Lei N° 14.119, de 13 de janeiro de 2021 (Brasil, 2021), e é uma forma de incentivo por remuneração pela conservação e desenvolvimento sustentável de natureza voluntária (Câmara dos Deputados, 2021), sendo um mecanismo que visa a conservação do meio ambiente, em que os prestadores de serviços ambientais, como os produtores rurais, recebem uma compensação financeira por preservarem os recursos naturais (Lima & De Souza Marques, 2023), que pode ser feita através do pagamento em dinheiro, isenção de impostos, concessão de crédito diferenciado, entre outros (Carneiro & Sousa, 2020). A Lei N° 14.119, de 13 de janeiro de 2021 (Brasil, 2021) traz conceitos importantes, entre os quais se destaca para o presente estudo:

“Art. 2º Para os fins desta Lei, consideram-se:

I - ecossistema: complexo dinâmico de comunidades vegetais, animais e de microrganismos e o seu meio inorgânico que interagem como uma unidade funcional;

II - serviços ecossistêmicos: benefícios relevantes para a sociedade gerados pelos ecossistemas, em termos de manutenção, recuperação ou melhoria das condições ambientais, nas seguintes modalidades:

a) serviços de provisão: os que fornecem bens ou produtos ambientais utilizados pelo ser humano para consumo ou comercialização, tais como água, alimentos, madeira, fibras e extratos, entre outros;

b) serviços de suporte: os que mantêm a perenidade da vida na Terra, tais como a ciclagem de nutrientes, a decomposição de resíduos, a produção, a manutenção ou a renovação da fertilidade do solo, a polinização, a dispersão de sementes, o controle de populações de potenciais pragas e de vetores potenciais de doenças humanas, a proteção contra a radiação solar ultravioleta e a manutenção da biodiversidade e do patrimônio genético;

c) serviços de regulação: os que concorrem para a manutenção da estabilidade dos processos ecossistêmicos, tais como o sequestro de carbono, a purificação do ar, a moderação de eventos climáticos extremos, a manutenção do equilíbrio do ciclo hidrológico, a minimização de enchentes e secas e o controle dos processos críticos de erosão e de deslizamento de encostas;

d) serviços culturais: os que constituem benefícios não materiais providos pelos ecossistemas, por meio da recreação, do turismo, da identidade cultural, de experiências espirituais e estéticas e do desenvolvimento intelectual, entre outros;

III - serviços ambientais: atividades individuais ou coletivas que favorecem a manutenção, a recuperação ou a melhoria dos serviços ecossistêmicos;

IV - pagamento por serviços ambientais: transação de natureza voluntária, mediante a qual um pagador de serviços ambientais transfere a um provedor desses serviços recursos financeiros ou outra forma de remuneração, nas condições acertadas, respeitadas as disposições legais e regulamentares pertinentes;

V - pagador de serviços ambientais: poder público, organização da sociedade civil ou agente privado, pessoa física ou jurídica, de âmbito nacional ou internacional, que provê o pagamento dos serviços ambientais nos termos do inciso IV deste caput ;

VI - provedor de serviços ambientais: pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, ou grupo familiar ou comunitário que, preenchidos os critérios de elegibilidade, mantém, recupera ou melhora as condições ambientais dos ecossistemas.”

O CPR Verde, por sua vez, é um PSA que surgiu em 2021, regulamentada pelo Decreto Nº 10.828, de 1º de outubro de 2021 (Brasil, 2021), como um incentivo para produtores rurais exercerem atividades de serviços ambientais relacionadas à conservação de florestas e recuperação da vegetação nativa que agreguem à redução de emissões de GEE (MAPA, 2022), na forma de título de crédito para financiar atividades de preservação ambiental em

propriedades rurais (DE SOUZA, 2022), onde ao invés de se comprometer em entregar o resultado da produção agropecuária em pagamento a um recurso financeiro obtido para investimento, o produtor poderá dar como garantia ao dinheiro recebido a manutenção de determinada área florestal em pé (MAPA, 2022). Assim, o CPR Verde é uma forma alternativa de financiamento que privilegia os produtores rurais que desejam impulsionar a sustentabilidade dentro das suas propriedades.

Em abril de 2024, o Projeto *Green Guardians* (2024) em uma área de 18 mil hectares no meio da floresta Amazônia, próximo ao município de Novo Aripuanã, no estado do Amazonas, concluiu que cada tonelada de carbono sequestrada da atmosfera equivale a R\$ 130,60 a partir do CPR Verde. Juntamente com o mercado de carbono, os instrumentos de PSA, apesar de diferentes entre si, integram o mesmo sistema e possuem a mesma finalidade de incentivar a produção rural sustentável e a preservação da natureza (DE SOUZA, 2022).

Atualmente a Amazônia enfrenta desafios significativos na valoração e conservação de seus recursos naturais. Os mercados de madeira e carbono apresentam oportunidades e complexidades, enquanto a agropecuária continua a ser um fator crucial na dinâmica econômica e ambiental da região. Políticas públicas eficazes e investimentos sustentáveis são essenciais para equilibrar o desenvolvimento econômico com a preservação ambiental, beneficiando não apenas a Amazônia, mas também contribuindo para os esforços globais de mitigação das mudanças climáticas. A biomassa está no centro da valoração desses mercados.

2.1.2. Biomassa Amazônica

A Amazônia, foco de atenção mundial devido à sua importância em serviços ecossistêmicos e ambientais, é uma das maiores florestas tropicais do mundo e um significativo sumidouro de carbono atmosférico, armazenando grandes quantidades de carbono em sua biomassa viva acima do solo. Baccini et al. (2012) estimaram que, em 2010, as florestas brasileiras continham um estoque de 53,2 gigatoneladas de carbono (GtC). Higuchi et al. (1998) indicaram que a biomassa viva acima do solo na Amazônia brasileira é composta por aproximadamente 65,6% de tronco, 17,8% de galho grosso, 14,5% de galho fino, 2,03% de folhas e 0,01% de flores e frutos. Fearnside (2002) calculou que a biomassa total média sem exploração madeireira para florestas originais na Amazônia brasileira é de cerca de 463 t/ha, considerando AGB, BGB e componentes florestais mortos no solo. Considerando apenas a AGB, Piva et al. (2021) calcularam um total de aproximadamente 163 toneladas de AGB por hectare (tAGB/ha) para a floresta densa na Amazônia brasileira, em

comparação com resultados avaliados pelo estudo que indicavam valores entre 250 e 350 tAGB/ha (Saatchi et al., 2011; Avitabile et al., 2016), além de estimativas com 142,3 tAGB/ha (Fearnside et al., 1993), 268 tAGB/ha (Brown & Lugo, 1992) e, na Amazônia Central, de $397,7 \pm 30,0$ tAGB/ha (Nascimento, 2002). Albert et al. (2023) afirmam que as florestas e solos amazônicos contêm cerca de 180 ± 30 GtC, com aproximadamente metade (90 ± 30 GtC) armazenada na biomassa vegetal e a outra metade no solo.

Quanto ao solo, Trumbore & Camargo (2009) destacam que a camada superior a 1 metro em solos minerais da Bacia Amazônica armazena cerca de 40 GtC, representando aproximadamente 3% do estoque global de carbono no solo. De acordo com o levantamento de SOC realizado pelo MapBiomas (2023) para o ano de 2021, a Amazônia possui o maior estoque de SOC do Brasil, totalizando 19,8 bilhões de toneladas (t) e uma média de 48 tSOC/ha no solo do bioma. Os teores de SOC nos primeiros 30 centímetros dos solos amazônicos variam consideravelmente, com estimativas entre 44 tSOC/ha em ultissolos e 55 tSOC/ha em oxissolos. Especificamente para uma região que englobe a AMACRO, Trumbore e Camargo (2009) indicam um estoque médio de 38 tSOC/ha nos 30 primeiros centímetros do solo no Estado do Acre.

De todo o carbono que um ecossistema florestal armazena, em florestas tropicais cerca de 46 a 52% está na biomassa viva acima do solo (fuste, casca, galhos e folhas - Dewar e Cannel (1992); Soares e Oliveira (2002); Trumbore e Camargo (2009); Manzato, 2018), 20% está no solo (respiração de raízes e heterotrófica dos microrganismos edáficos) e 6 a 8% na serapilheira (resíduos vegetais e animais no solo - Qureshi et al., 2012), com esses valores variando de acordo com o estágio de desenvolvimento florestal (Cassol, 2013). Conforme o MCTI (2020), a biomassa da serapilheira é um percentual relativo a 4% da biomassa acima do solo, assim como a biomassa da madeira morta é um percentual relativo à 7% da biomassa acima do solo. Segundo o Sistema Nacional de Informações Florestais (SNIF, do Serviço Florestal Brasileiro, 2020), o carbono representa cerca de 50% da biomassa nas florestas e é armazenado em cinco diferentes compartimentos:

1. **Carbono na biomassa viva acima do solo:** composto por troncos, galhos, copa, sementes e folhas.
2. **Carbono na biomassa viva abaixo do solo:** composto por raízes vivas, excluindo aquelas pequenas (diâmetro < 2 milímetros) por não poderem ser distinguidas da matéria orgânica do solo ou da serapilheira.

3. **Carbono na biomassa morta:** composto por toda a biomassa lenhosa morta que não faz parte da serapilheira, incluindo o que já está caído no solo, as raízes mortas e os galhos com diâmetros superiores a 10 centímetros.
4. **Carbono na serapilheira:** composto por toda a biomassa morta com diâmetro inferior ao diâmetro de 10 centímetros, em vários estágios de decomposição por cima do solo mineral ou orgânico.
5. **Carbono orgânico no solo:** composto pelo carbono orgânico nos solos minerais e orgânicos a uma profundidade específica e aplicada de maneira coerente em todas as séries cronológicas.

É sugerido pelo SNIF (2020) que se estime o carbono presente em cada compartimento da floresta separadamente, e depois some esses valores para obter o total de carbono armazenado. Normalmente, nos biomas brasileiros, a maior parte da biomassa vegetal está localizada na parte aérea das árvores de grande diâmetro, com cerca de 80% do total de biomassa. No entanto, no bioma Cerrado, a maior concentração de biomassa se encontra nas raízes, com a biomassa subterrânea representando cerca de 70% do total de biomassa.

O SNIF (2020) estima que, para o ano de 2015, a Amazônia possuía cerca de 43,982 GtC em biomassa viva acima do solo, 7,913 GtC em biomassa abaixo do solo, 0,569 GtC em biomassa morta, 0,718 GtC na serapilheira e 15,389 GtC no solo, representado um total de 68,571 GtC nos cinco componentes para o ano de 2015 na Amazônia.

Assim, disponíveis os dados de valores de Biomassa Viva Acima do Solo (AGB), é possível estimar os valores de Biomassa Abaixo do Solo (BGB) e obter o valor de carbono estocado tanto acima quanto abaixo do solo, para isso no presente estudo foi considerado que a BGB corresponde a 13,9% da AGB (Higuchi, 2015). Da mesma forma, conforme o MCTI (2020) é possível estimar a biomassa da serapilheira como 4% a partir da AGB, e a biomassa morta como 7% a partir da AGB. No presente trabalho, será considerado o fator de 48% a partir do total de biomassa (AGB + BGB + serapilheira + matéria morta) para converter o valor em carbono estocado em biomassa, conforme Higuchi e Carvalho Jr. (1994). O SOC será obtido a partir dos dados disponibilizado pelo projeto MapBiomas Solo, criado em 2021, que apresenta uma série de mapas anuais dos estoques de SOC, medidos em toneladas de carbono orgânico no solo por hectare (tSOC/ha), nos primeiros 30 cm do solo brasileiro para o período de 1985-2021 (MapBiomas, 2023).

O mercado de carbono, tanto o regulado, quanto o voluntário, utilizam o dióxido de carbono Equivalente (CO_{2e}) como unidade para representar todos os GEE e convertê-los em créditos, dessa forma o carbono estocado em estruturas florestais e no solo precisa ser convertido em CO_{2e} para ser avaliado em potencial no referido mercado para o carbono estocado na biomassa viva acima e abaixo do solo. Para isso, foi utilizado o fator de conversão de que 1 tonelada de carbono equivale a 3,67 toneladas de CO_{2e}, baseado na divisão da massa molar do carbono (12 gramas por mol, g/mol) e do dióxido de carbono (44 g/mol) (FACE, 1994; Oliveira Junior et al., 2022).

Dada a importância da Amazônia às preocupações climáticas mundiais, o Brasil tem sido pressionado a adotar medidas mais ambiciosas de redução de emissões de GEE, especialmente em relação às queimadas, ao desmatamento e à degradação ambiental na Amazônia, uma das principais fontes de emissões de GEE no país (Gatti et al., 2021; Matricardi et al. (2020), Silva Junior et al. (2021), Lapola et al. (2023), Albert et al. (2023)). Silva Junior et al. (2021) afirma que o desmatamento da Floresta Amazônica em 2020 equivaleu à emissão de 648 milhões de toneladas de carbono (0,648 GtC) na atmosfera; Albert et al. (2023) apresenta que os incêndios amazônicos liberaram, entre 2010 e 2018, cerca de 0,5 a 1,5 GtC por ano na atmosfera, ao passo que o crescimento da floresta no período removeu apenas 0,5 GtC por ano; Lapola et al. (2023) apresenta que a degradação ambiental é responsável pela perda de 0,05 a 0,20 GtC por ano na Amazônia, e é uma medida comparável à perda de carbono por desmatamento na região de cerca de 0,06 a 0,21 GtC por ano. Diaz et al. (2002) destacam que, em anos influenciados pelo fenômeno El Niño, como 1998, as emissões de CO₂ causadas por incêndios florestais na Amazônia resultaram em perdas monetárias estimadas entre US\$ 126 milhões e US\$ 9,446 bilhões. Em anos sem El Niño, como em 1995, os prejuízos variaram de US\$ 10 milhões a US\$ 572 milhões. Essa ampla variação deve-se às incertezas no mercado de carbono e na estimativa dos estoques de carbono nas florestas, onde o valor monetário das emissões de CO₂ é altamente influenciado pela metodologia utilizada para seu cálculo e pelas condições políticas e acordos internacionais.

Dessa forma, a biomassa da Amazônia é de extrema importância para o mercado de carbono e para serviços ambientais de conservação, tanto brasileiros quanto mundiais: a Floresta Amazônica armazena grandes quantidades de carbono, e a preservação e o manejo sustentável desse ecossistema podem gerar créditos de carbono. Estudos como os de Cassol et al. (2021), Yang (2018) e Pereira (2018) demonstram o potencial da biomassa amazônica

como um sumidouro de carbono, destacando a importância de políticas e mecanismos adequados para valorizar esse potencial no mercado de carbono. Brito e Pozzetti (2024) constataram que a Amazônia carece de iniciativas que contribuem para a diminuição do seu desmatamento e, conseqüentemente da emissão de CO₂, ressaltando que os habitantes da floresta, as comunidades indígenas e tradicionais mostram-se como aliados no progresso de políticas públicas e investimentos financeiros de programas que visam preservar os recursos naturais da Amazônia, sendo também sujeitos de direito nessa relação.

Com grande potencial de aumento das emissões de GEE (Silva et al., 2022) e caracterizada como a nova fronteira do desmatamento na Amazônia (MapBiomias, 2023), a região denominada AMACRO pelo Relatório Anual de Desmatamento de 2022 do MapBiomias se configura como um importante foco para olhares estratégicos acerca de alternativas que contenham o desmatamento e mudança do uso do solo, visando um desenvolvimento econômico aliado com práticas sustentáveis.

O Relatório Anual de Desmatamento no Brasil de 2022 (MapBiomias, 2023), destaca uma região que abrange a divisa dos Estados amazônicos do Amazonas (AM), Acre (AC) e Rondônia (RO), chamada de AMACRO, como a nova fronteira do desmatamento na Amazônia. A AMACRO será a área alvo da presente pesquisa, região caracterizada pela expansão agropecuária e que se tornou um relevante alvo de pressão de desmatamento em alertas emitidos pelo MapBiomias de 2019 a 2022, embora tenha sido observada uma redução de 73,6% no desmatamento da região em 2023, em relação a 2022, conforme o RAD 2023 (MapBiomias, 2024).

2.2. AMAZÔNIA, AMACRO E SUAS ÁREAS PROTEGIDAS

Segundo o Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, o bioma amazônico possui, provavelmente, a maior diversidade biológica e a maior reserva de madeira tropical do mundo, abrangendo mais de 9 países (Brasil, Bolívia, Peru, Equador, Colômbia, Venezuela, Guiana, Suriname e Guiana Francesa), com cerca de 8.470.209 km² (RAISG, 2020). No Brasil, a Amazônia Legal ocupa uma área de cerca de 5.015.067,86 km², correspondendo a 58,93% do território do país (IBGE, 2021). Com cerca de 40 mil espécies de plantas (ICMBio, 2021), Marengo & Espinoza (2016) afirmam que a Floresta Amazônica influencia os climas regionais e globais e sequestram cerca de 70 bilhões de toneladas de carbono da atmosfera por ano.

Além de sua riqueza natural, a região possui grande riqueza cultural. Com cerca de 22 milhões de habitantes, majoritariamente dispostos em áreas urbanas, além de diversas comunidades tradicionais, como quilombolas e povos indígenas, a Amazônia é berço de povos que armazenam conhecimentos sobre diferentes usos e formas de exploração de sua natureza de maneira sustentável (MMA, 2021). Segundo o Atlas Amazônia Sob Pressão 2020 (RAISG, 2020) as TIs compreendem 2.376.140 km², equivalentes a 27,5% do total da Amazônia, e as APs correspondem a 2.123.007 km², representando 24,6% da região, sendo que 17,7% da superfície das TIs se sobrepõe às APs (420.563 km²). Juntos, esses territórios cobriam 47,3% da Amazônia em 2019. O Censo 2022 (IBGE, 2022) estima que 868.419 pessoas indígenas e 427.801 pessoas quilombolas vivem na Amazônia Legal brasileira. A dependência econômica e cultural de tais comunidades com os recursos naturais da região, somada ao papel fundamental da Amazônia na regulação do clima e conservação da biodiversidade, enaltecem a importância da preservação da região.

Embora detentora dessa imensa riqueza, o ICMBio (2021) ressalta que a Amazônia é extremamente sensível às interferências humanas, como o desmatamento e garimpo ilegal, contribuindo com uma instabilidade climática e baixos índices socioeconômicos na região. As Unidades de Conservação (tanto federais, quanto estaduais e municipais) e as áreas protegidas (como as Terras Indígenas e territórios quilombolas) se fazem presentes como importantes áreas que ajudam a frear a degradação e desempenham um papel fundamental na preservação da Floresta Amazônica.

Essas áreas são estabelecidas com o objetivo de proteger ecossistemas naturais e populações tradicionais, garantir a conservação da biodiversidade e promover o uso sustentável dos recursos naturais. No caso das UCs, a Lei N° 9.985/2000 que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) as apresenta como espaços territoriais e seus recursos ambientais, legalmente instituídos pelo Poder Público, com objetivos de conservação da natureza em seus limites, sendo essa conservação:

*“Art.2º. Para os fins previstos nesta Lei, entende-se por:
II - o manejo do uso humano da natureza, compreendendo a preservação, a manutenção, a utilização sustentável, a restauração e a recuperação do ambiente natural, para que possa produzir o maior benefício, em bases sustentáveis, às atuais gerações, mantendo seu potencial de satisfazer as necessidades e aspirações das gerações futuras, e garantindo a sobrevivência dos seres vivos em geral.”*

Conforme o SNUC, as UCs de proteção integral têm finalidade de preservar a natureza, sendo admitido apenas o uso indireto dos recursos naturais; já as UCs de uso sustentável,

conciliam a conservação da natureza com o uso sustentável de parte dos recursos naturais, territórios muitas vezes utilizados por comunidades tradicionais. Toda UC precisa ter um plano de manejo, atendendo aos objetivos gerais pelos quais foi criada e com o intuito de minimizar os impactos negativos sobre o território protegido, visando garantir a manutenção dos processos ecológicos e prevenir a simplificação dos sistemas naturais (MMA, [s.d.]).

Um dos aspectos relevantes a ser considerado no processo de manejo das UCs é o processo de concessão florestal. Essa concessão é uma modalidade de gestão das florestas públicas, na qual o governo concede a empresas e comunidades locais o direito de extrair recursos florestais de forma sustentável. Segundo o Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA, 2022), a política de concessões florestais, regulada pela Lei de Gestão de Florestas Públicas (a Lei Nº 11.284, de 2 de março de 2006), tem como principais metas a preservação das florestas públicas brasileiras, a promoção da produção sustentável, o estímulo ao desenvolvimento econômico regional e a melhoria da qualidade de vida das comunidades que habitam regiões próximas a essas áreas. Assim, pelo menos em teoria, é possível garantir a preservação dos recursos naturais, promover o desenvolvimento socioeconômico das comunidades e fortalecer sua autonomia e capacidade de gestão, contribuindo para a redução do desmatamento ilegal e da exploração predatória.

Em muitos casos, a concessão florestal foca na utilização econômica dos produtos madeireiros das florestas públicas. Como visto no estudo de caso da primeira concessão florestal federal na Floresta Nacional do Jamari (Chules, 2018), também é importante considerar a potencialidade de geração econômica em produtos não madeireiros, resíduos florestais e resíduos da indústria oriundos dos manejos florestais em concessões. Ao promover a utilização desses recursos, é possível diversificar as atividades econômicas da região, reduzindo a dependência da exploração madeireira e fomentando práticas de baixo impacto ambiental. Um exemplo de atividade que pode ser considerando nessa perspectiva é a geração de créditos de carbono e de CPR Verde a partir da regeneração e preservação de áreas florestais.

Nesse contexto, recentemente a Lei 14.590/2023 estabeleceu a permissão do comércio de crédito de carbono e a exploração da biodiversidade das unidades em concessão florestal. O texto da lei expressa, entre outros, que, ressalvadas as áreas ocupadas ou utilizadas por comunidades locais, o contrato de concessão poderá prever a transferência da titularidade dos créditos de carbono do poder concedente ao concessionário, durante o período da concessão,

bem como o direito de comercializar certificados representativos de créditos de carbono e serviços ambientais associados. Mesmo com algumas medidas que permitem o comércio desses créditos, o cenário acerca do funcionamento efetivo de um mercado regularizado e regulado no Brasil ainda é nebuloso.

As áreas protegidas também abrangem as Terras Indígenas e as utilizadas por comunidades quilombolas. A proteção desses territórios no Brasil remete à Constituição de 1988, a qual reconhece os direitos originários dos povos indígenas sobre as terras que tradicionalmente ocupam (artigo 231) e o direito das comunidades quilombolas à propriedade definitiva sobre as terras por elas ocupadas (artigo 68).

A demarcação e proteção das TIs são asseguradas por legislação específica, como a Lei nº 6.001/1973 (Estatuto do Índio) e o Decreto nº 1.775/1996. O processo de demarcação é conduzido pela FUNAI e envolve estudos técnicos e consulta aos povos indígenas afetados. O processo de titulação das terras quilombolas é realizado pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), que realiza estudos antropológicos, históricos e geográficos para comprovar a ocupação tradicional dessas comunidades. O reconhecimento e a garantia dos direitos territoriais dessas populações são fundamentais para a preservação de suas culturas, tradições e modos de vida, sendo fundamentais áreas protegidas que auxiliam no manejo sustentável das florestas e na contenção de degradações.

Portanto, é visível que as APs desempenham um papel importante na manutenção dos serviços ecossistêmicos, ambientais e socioeconômicos, como a regulação do clima, a proteção dos recursos hídricos, a conservação da biodiversidade e a subsistência das populações que as utilizam, atuando como verdadeiras barreiras contra o desmatamento. É importante investir na restauração e conservação dos ecossistemas e dos serviços associados às essas áreas, fato que representa a base para um novo desenvolvimento social e econômico que pode criar empregos ao mesmo tempo reduzir a pobreza e a desigualdade socioeconômica (Bustamante et al., 2019). Com grande potencial de aumento das emissões de GEE (Silva et al., 2022), uma região em específico da Amazônia se revela importante como foco para olhares estratégicos acerca de alternativas que contenham o desmatamento e mudança do uso do solo, visando um desenvolvimento econômico aliado com práticas sustentáveis: A AMACRO.

A AMACRO, nas configurações do Relatório Anual de Desmatamento no Brasil de 2022 (MapBiomias, 2023), é uma região composta por 23 municípios (Quadro 2), distribuídos entre o sul do Amazonas, leste do Acre e noroeste de Rondônia, com uma extensão de 254.256,12 quilômetros quadrados (km²) ou 25.425.612 hectares. A região tem como nome o acrônimo da sigla dos respectivos Estados onde se encontram os municípios, se tornando uma nova frente de expansão agrícola no Brasil (Santos, 2023), com grande potencial de aumento das emissões de GEE (Silva et al., 2022) e caracterizada como a nova fronteira do desmatamento na Amazônia (MapBiomias, 2023), somando cerca de 1.353.095 habitantes (IBGE, 2022). A dinâmica do desmatamento na região da AMACRO é fortemente influenciado pelos efeitos das políticas de integração da Amazônia, relacionados à execução de obras viárias como a pavimentação da BR-319, além de avanços da atividade agropecuária (Santos et al., 2024; Ferrante & Fearnside, 2020; Soares-Filho et al., 2020).

Quadro 2 - Municípios da AMACRO e suas respectivas áreas em quilômetro quadrado (km²) e em hectares (ha). Fontes: Relatório Anual de Desmatamento no Brasil de 2022 (MapBiomias, 2023) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022).

Município	Unidade Federativa	Área (ha)	População (IBGE, 2022)
Rio Branco	Acre	883.515,00	364.756
Porto Acre	Acre	260.442,00	16.693
Senador Guiomard	Acre	232.017,00	21.454
Plácido de Castro	Acre	195.256,00	16.560
Acrelândia	Acre	181.161,00	14.021
Capixaba	Acre	170.582,00	10.392
Lábrea	Amazonas	6.826.268,00	45.448
Humaitá	Amazonas	3.311.113,00	57.473
Boca do Acre	Amazonas	2.193.858,00	35.447
Porto Velho	Rondônia	3.409.095,00	460.434
Guajará-Mirim	Rondônia	2.485.688,00	39.387

Nova Mamoré	Rondônia	1.007.049,00	25.444
Machadinho D'Oeste	Rondônia	850.927,00	30.707
Candeias do Jamari	Rondônia	684.387,00	22.310
Ariquemes	Rondônia	442.657,00	96.833
Itapuã do Oeste	Rondônia	408.158,00	8.548
Cujubim	Rondônia	386.395,00	14.863
Campo Novo de Rondônia	Rondônia	344.201,00	8.844
Buritis	Rondônia	326.581,00	27.992
Alto Paraíso	Rondônia	265.182,00	16.320
Cacaulândia	Rondônia	196.178,00	4.150
Monte Negro	Rondônia	193.138,00	11.548
Rio Crespo	Rondônia	171.764,00	3.471
Total		25.425.612,00	1.353.095

Diversas áreas protegidas (APs) fazem parte da AMACRO. Segundo o Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA, 2020), o Brasil, durante a Sétima Conferência das Partes (COP 7) da Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB), assumiu o compromisso de adotar um Programa de Trabalho para APs que, entre outros instrumentos, se concretizou no Plano Estratégico Nacional de Áreas Protegidas (PNAP). O PNAP é instituído pelo Decreto N° 5.758, de 13 de abril de 2006, e tem enfoque prioritário nas terras indígenas, nos territórios quilombolas e no Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC; Lei N° 9.985, de 18 de julho de 2000) constituído pelo conjunto das unidades de conservação federais, estaduais e municipais. O Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM) em conjunto com projeto O Eco (O Eco, 2023), estimaram que a vegetação acima e abaixo do solo nas UCs da Amazônia Legal estoca cerca de 19 GtC, proporcionais a 28 anos de emissões brasileiras de CO₂e com cerca de 593,8 tCO₂/ha.

As APs da AMACRO são sensíveis a ameaças, com a região enfrentando uma grave crise de violência e degradação ambiental, exacerbada pela expansão do agronegócio e projetos de infraestrutura. A Fundação Rosa Luxemburgo relata que em um evento promovido pelo Conselho Indigenista Missionário (CIMI, 2023), líderes de 31 povos indígenas relataram um aumento significativo de grilagem, roubo de madeira, desmatamento ilegal, queimadas e conflitos fundiários, com 150 casos registrados em 2022, além de ameaças oriundas do mercado de carbono não regulado, com benefícios não repassados de forma justa, e do agronegócio à autonomia dos territórios. Esses problemas são agravados pela falta de políticas públicas para a demarcação e proteção de terras indígenas e pela passividade ou incentivo das autoridades públicas a atividades ilícitas. Além disso, projetos de economia verde, como REDD+, têm causado desarmonia nas comunidades, aumentando ainda mais a violência e a degradação ambiental na região (Glass, 2023). Pontes (2024), afirma que a AMACRO é berço de crimes ambientais, com taxas recordes de desmatamento e queimadas, invasões de terras públicas e áreas protegidas, grilagem, garimpo e roubo de madeira.

Nesse contexto, a FUNAI (2024) emitiu uma nota oficial sobre projetos de créditos de carbono em TIs, a partir do observado desde o início de 2022 com um aumento significativo de demandas relacionadas à comercialização de créditos de carbono em terras indígenas no mercado voluntário de carbono. A Fundação relata que comunidades e lideranças indígenas têm buscado orientação sobre projetos de REDD+, enquanto a Funai avalia a conformidade jurídica desses contratos, preocupada com os potenciais danos aos direitos indígenas, recomendando cautela e orientando as comunidades a não celebrarem contratos até que haja definições claras sobre os critérios de participação das terras indígenas no mercado de carbono. Além disso, a FUNAI trabalha em conjunto com o Ministério dos Povos Indígenas (MPI) e o MMA para reativar instâncias de governança e assegurar uma ampla consulta aos povos indígenas sobre regulamentações futuras, reforçando a necessidade de preparação e participação ativa das comunidades nos debates climáticos.

A Nota Técnica nº. 02/2023 do Ministério Público do Estado do Pará concluiu, entre outros, que no contexto do mercado voluntário de carbono é crucial assegurar a proteção dos direitos dos povos e comunidades tradicionais, observando salvaguardas como o direito ao território, a consulta livre, prévia e informada, e a repartição de benefícios. Contratos envolvendo créditos de carbono em terras públicas devem contar com intervenção estatal para evitar apropriação indevida e devem ser transparentes e registrados, sendo dever do Estado

garantir a ampla participação pública e seguir a Política Estadual sobre Mudanças Climáticas do Pará, respeitando a legislação ambiental e os direitos das comunidades tradicionais à repartição de benefícios. Além disso, contratos devem incluir cláusulas de flexibilidade e garantias excepcionais para proteger a parte vulnerável e garantir a implementação de medidas de conservação e compensação ambiental.

Nesse contexto, ressalta-se que trabalhar com essas questões em TIs é complexo e requer ressalvas rigorosas para garantir a proteção dessas áreas e os direitos dos povos indígenas. A FUNAI (2024) enfatiza a necessidade de políticas públicas claras e eficazes para a proteção desses territórios, destacando que a exploração econômica de tais áreas deve ser cuidadosamente regulada para evitar danos ambientais e sociais, nas quais a proteção dos direitos dos povos indígenas e a preservação ambiental são fundamentais para garantir a sustentabilidade e a integridade desses territórios.

Dessa maneira, em relação às TIs e UCs, o presente estudo apresenta um exercício do potencial das APs no mercado de serviços ambientais, visando um cenário onde as populações ocupantes ou beneficiárias por direito dos respectivos territórios sejam titulares dos benefícios gerados pelos projetos. É preciso ressaltar que o mercado de carbono ainda não é regulado no Brasil, assim como o CPR Verde é exclusivo para produtores rurais, nas quais as estimativas a serem apresentadas para esses ativos em APs representam um cenário hipotético. Este exercício é uma maneira de realizar a verificação da potencialidade desses ativos em um território que exercer um papel de proteção contra o desmatamento e contribuir na manutenção da floresta em pé e do estoque de carbono, visando garantir transparência sobre o potencial dessas áreas, de modo que, em um futuro cenário de regulamentação dos ativos ambientais nesses territórios, seus ocupantes possam ser os verdadeiros beneficiados pelos projetos.

2.3.FERRAMENTAS DE GEOPROCESSAMENTO NA ESTIMATIVA DE BIOMASSA E CARBONO

De acordo com o *Earth Data*, da NASA, o sensoriamento remoto é uma técnica que permite a obtenção de informações à distância sobre a Terra por meio da análise de imagens e dados capturados por sensores instalados em plataformas aéreas e espaciais. Esses sensores captam a radiação eletromagnética refletida ou emitida pelos objetos presentes na superfície terrestre e fornecem informações valiosas para diversas áreas do conhecimento, permitindo a tomada de decisões informadas por dados com base no estado atual e futuro do nosso planeta.

Conforme Nogueira et al. (2010), os sistemas de informação geográfica (SIG) constituem uma importante ferramenta para monitorar grandes extensões geográficas, pela facilidade de armazenar, espacializar e analisar grandes quantidades de dados referentes aos recursos naturais e às atividades antrópicas, além de permitir avaliar ou simular as consequências dessas atividades sobre a superfície terrestre (MORTON et al., 2006). Martins et al. (2011) afirmam que as técnicas de análise de variações espaciais evoluíram bastante no durante as últimas décadas (Saatchi et al., 2007; Sales et al., 2007; Falkowski et al., 2009).

Para compreender o sensoriamento remoto, é fundamental conhecer alguns termos gerais. A radiação eletromagnética é a energia emitida ou refletida pelos objetos e é composta por diferentes faixas espectrais, como o ultravioleta, o visível, o infravermelho e as micro-ondas. Cada faixa espectral é sensível a diferentes características dos objetos e permite a extração de informações específicas (Jensen, 2007) e, para isso, utilizam-se diversos sensores de detecção acoplados a satélites e veículos aéreos, cada um com características e aplicações distintas.

Existem diversos tipos de sensores utilizados no sensoriamento remoto, cada um com características e aplicações distintas. Os sensores ópticos, como os presentes nos satélites Landsat e Sentinel-2, capturam a radiação visível e infravermelha próxima e são amplamente utilizados para monitorar a cobertura vegetal, a qualidade da água e as mudanças na superfície terrestre (Wulder et al., 2016). Outros exemplos incluem o sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) a bordo dos satélites Terra e Aqua, o LiDAR (Light Detection and Ranging) e o radar.

Segundo a Administração Oceânica e Atmosférica dos Estados Unidos (NOAA, na sigla em inglês, 2023) o LiDAR utiliza pulsos de luz laser para medir a distância entre o sensor e a superfície terrestre e fornece informações tridimensionais detalhadas sobre a estrutura e características da superfície terrestre. Exemplos incluem o sensor GLAS (Geoscience Laser Altimeter System) a bordo do satélite ICESat.

O radar é um tipo de sensor que emite pulsos de micro-ondas e mede o tempo que leva para os sinais retornarem após interagirem com a superfície terrestre (Rees, 2012). Ao contrário dos sensores ópticos, o radar pode operar em qualquer condição climática. Conforme a Agência Espacial Europeia (ESA), isso permite a criação de imagens de alta resolução espacial e a obtenção de informações independentemente das condições climáticas, como nuvens ou nevoeiro. Um exemplo de constelação de radares é a missão Sentinel, que

faz parte do programa Copernicus da ESA, e tem como objetivo fornecer uma fonte contínua de dados de observação da Terra para monitorar e entender os processos ambientais e apoiar tomadas de decisão. A missão Sentinel é composta por várias séries de satélites, cada um equipado com diferentes sensores e capacidades como, no caso dos radares, o Sentinel-1A e Sentinel-1B.

No processamento e análise dos dados de Sensoriamento Remoto, são utilizadas diversas ferramentas para geoprocessamento. O *Google Earth Engine* é uma plataforma que permite acessar, processar e analisar grandes volumes de dados de sensoriamento remoto em nuvem, facilitando a realização de análises espaciais em larga escala (Gorelick et al., 2017). Outra ferramenta amplamente utilizada é o SNAP (Sentinel Application Platform), desenvolvido pela ESA, que oferece uma variedade de recursos para o processamento de dados Sentinel e outras fontes de dados de Sensoriamento Remoto. Dois dos *softwares* mais utilizados no geoprocessamento são o ArcGis, da empresa ESRI, e o QGIS, *software* livre e de código aberto.

O Sensoriamento Remoto desempenha um papel crucial no levantamento de biomassa, que é a quantidade de matéria orgânica presente em uma determinada área (Saatchi et al., 2011). Diferentes sensores, como LiDAR, multiespectral e radar, são utilizados para estimar a biomassa e entender a distribuição e as mudanças na vegetação. A técnica também é amplamente utilizada na quantificação do carbono estocado na vegetação, permitindo estimativas precisas das emissões de carbono e o monitoramento das mudanças no estoque de carbono (Asner et al., 2010; Baccini et al., 2012; Wilkes et al., 2018; Hamdan & Misman, 2018). Essas informações são fundamentais para entender o impacto das mudanças no uso da terra e das atividades humanas no ciclo do carbono.

Ferramentas de sensoriamento remoto são importantes para monitorar e analisar mudanças na vegetação, no uso da terra e no meio ambiente em geral, permitindo mapear a cobertura vegetal, áreas inundadas, deslizamentos de terra e estimar a quantidade de carbono armazenado em diferentes tipos de florestas, como vistos nos estudos de Lu et al. (2023), David et al. (2022), Georgopoulos et al. (2022) e Baccini et al. (2012). A pesquisa de Baccini et al. (2012), em particular, teve como objetivo melhorar a precisão das estimativas de emissões de dióxido de carbono (CO₂) provenientes do desmatamento da região pantropical do planeta. Para isso, foi estimada a densidade de carbono (MgC/ha) disponível na biomassa viva acima do solo na mencionada região (que abrange a África tropical, parte da América e

da Ásia) utilizando dados de inventários florestais obtidos em diferentes pontos de controle distribuídos na região (de 2008 a 2010), dados LiDAR com resolução espacial de 70m juntamente com imagens multiespectrais de satélites em uma resolução de 500m (de 2000 a 2010), além de outros processos geoespaciais, para criar mapas de densidade de carbono florestal.

O estudo de Baccini et al. (2012) utilizou dados de Sensoriamento Remoto, incluindo LiDAR, sensores multiespectrais e radar, para mapear e estimar as emissões de dióxido de carbono provenientes do desmatamento tropical e fornecer quanto de carbono ainda estava presente na biomassa viva acima do solo. O estudo utilizou técnicas avançadas de processamento e análise de dados para quantificar o carbono estocado na biomassa acima do solo e melhorar a precisão das estimativas de emissões de carbono.

O LiDAR, segundo o INPE, é um sensor remoto ativo que opera a bordo de plataformas, tripuladas ou não, com um método direto de captura de dados a partir de um laser que emite feixes de luz na banda do infravermelho próximo, com fonte de energia própria. Esse sistema sensor é comumente utilizado em levantamentos topográficos, caracterização da estrutura da vegetação e na análise volumétrica de edificações e ambientes urbano. Os sensores multiespectrais, por sua vez, capturam a energia refletida ou emitida por um alvo através de um número limitado de bandas espectrais, geralmente não ultrapassando de uma dezena (Quartaroli et al., 2014). Já o radar, é um tipo de sensor que atua emitindo pulsos de micro-ondas a um alvo e medindo o tempo de retorno dos pulsos ao sensor (Rees, 2012), podendo operar em qualquer condição climática.

No levantamento feito por Baccini et al. (2012), diversos sistemas sensores foram utilizados para obter informações detalhadas sobre a estrutura vertical da floresta, assim como levantamentos de campo, permitindo estimativas mais precisas da biomassa acima do solo. O LiDAR, adquirido pelo *Goescience Laser Altimeter System* (GLAS) a bordo do satélite *Ice, Cloud, and land Elevation Satellite* (ICESat) da NASA, foi utilizado com uma resolução espacial nominal de 70m, conjuntamente com imagens multiespectrais de reflectância de superfície com 500m de resolução espacial, fornecido pelo *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) a bordo dos satélites Terra e Aqua da NASA, e com dados de elevação digital obtidos da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) da NASA.

Especificamente, o LiDAR foi utilizado para calibrar as observações de campo e criar um conjunto de dados espacialmente contínuos sobre o armazenamento de carbono em uma resolução de 500m, estabelecendo uma relação estatística entre as estimativas de biomassa de campo e as métricas da forma de onda do LiDAR, permitindo a extensão dessas medições para estimativas em localizações não amostradas nos trópicos. O MODIS, com suas imagens multiespectrais de resolução moderada, foi utilizado na estimativa da cobertura vegetal, no monitoramento de mudanças na vegetação ao longo do tempo e na identificação de áreas desmatadas. O radar SRTM, por sua vez, serviu para obter os dados de elevação topográfica, que foram integrados ao modelo de aprendizado de máquina *Random Forest*, juntamente com os dados do MODIS e as estimativas baseadas no LiDAR, para produzir o mapa de biomassa de alta resolução para os trópicos.

Ao combinar dados de diferentes sensores e fontes, foi possível criar mapas de densidade de carbono, que fornecem informações sobre a quantidade de carbono armazenada na biomassa acima do solo em diferentes regiões. Esses mapas são cruciais para estimar as emissões de dióxido de carbono provenientes do desmatamento tropical ao longo de um determinado tempo e auxiliar na implementação de medidas de conservação florestal e mitigação das mudanças climáticas.

Os resultados obtidos por Baccini et al. (2012) estão disponíveis em resolução espacial de 500m para o ano de 2010 no catálogo da plataforma do *Google Earth Engine*, e mostraram que no referido ano o Brasil e a Indonésia continham 35% do total de carbono armazenado nas florestas tropicais do mundo e produzem as maiores emissões por perda florestal, sendo estimado que as florestas do Brasil armazenem cerca de 53 bilhões de toneladas de carbono. Uma vez já calibrado e apresentando resultados com intervalo de confiança de 95%, uma atualização da base de dados desse estudo para períodos mais recentes é viável a partir de imagens e dados atuais de satélites, como os disponibilizados pelo projeto MapBiomass.

O MapBiomass é uma rede colaborativa entre Organizações Não Governamentais (ONG), universidades e startups de tecnologia, consolidado em uma plataforma on-line, produzindo o mapeamento anual da cobertura e uso do solo e monitorando mensalmente a superfície de água e de cicatrizes de fogo, com dados desde 1985. As imagens utilizadas na plataforma são do programa de satélites Landsat, com resolução espacial de 30 metros e com uma série temporal de mais de 30 anos. Assim, no presente estudo, os dados fornecidos pelo MapBiomass para carbono no solo, desmatamento e uso e cobertura do solo entre os anos de

2010 e 2021, serão utilizados para atualizar a base de dados de Baccini et al. (2012) e perceber mudanças na região da AMACRO.

3. MATERIAL E MÉTODOS

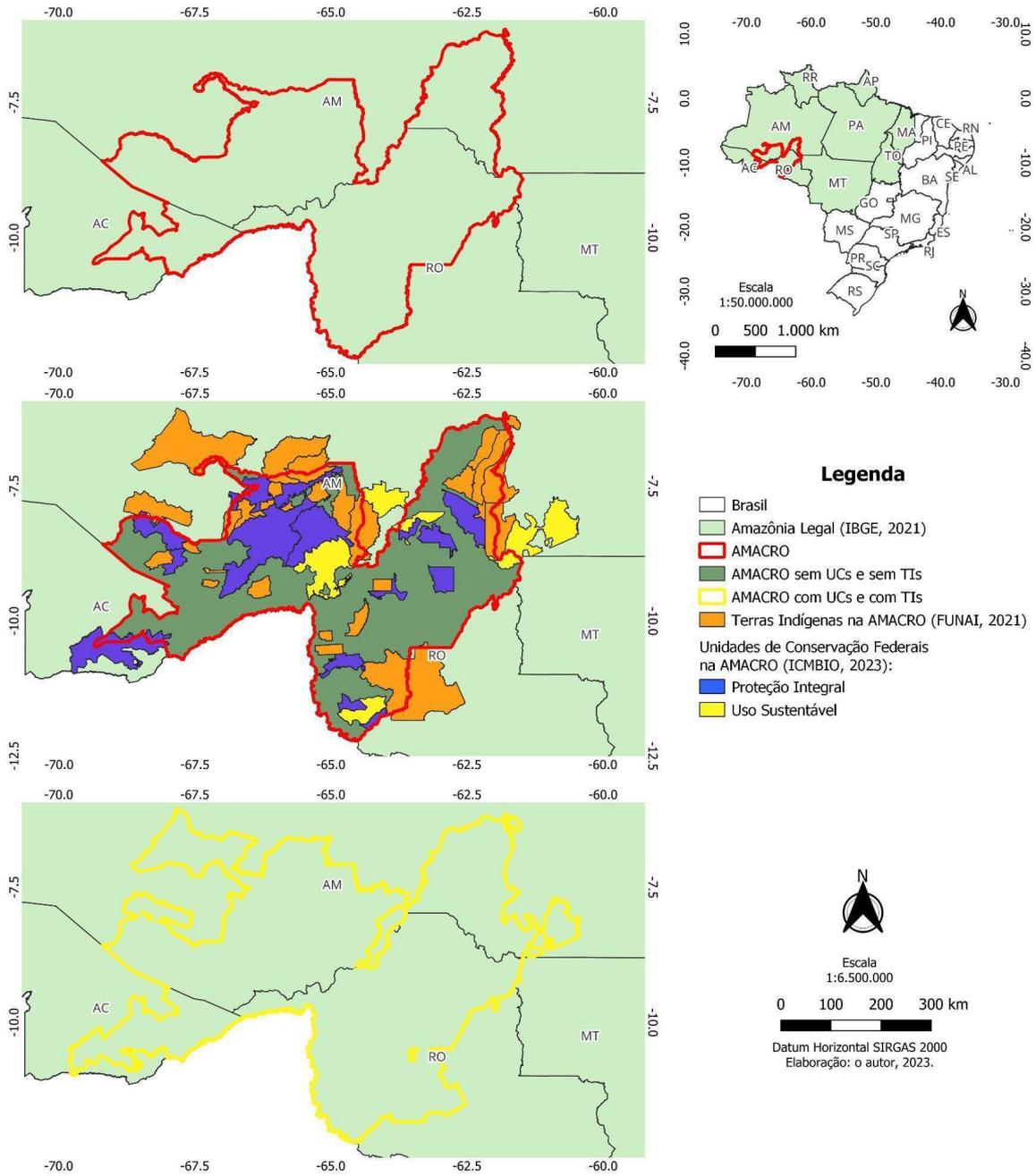
3.1.ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo considerou cinco regiões de interesse para análises na AMACRO, levando em consideração as APs que englobam as Unidades de Conservação Federais (ICMBio, 2023) e as Terras Indígenas homologadas (FUNAI, 2021) na região da AMACRO:

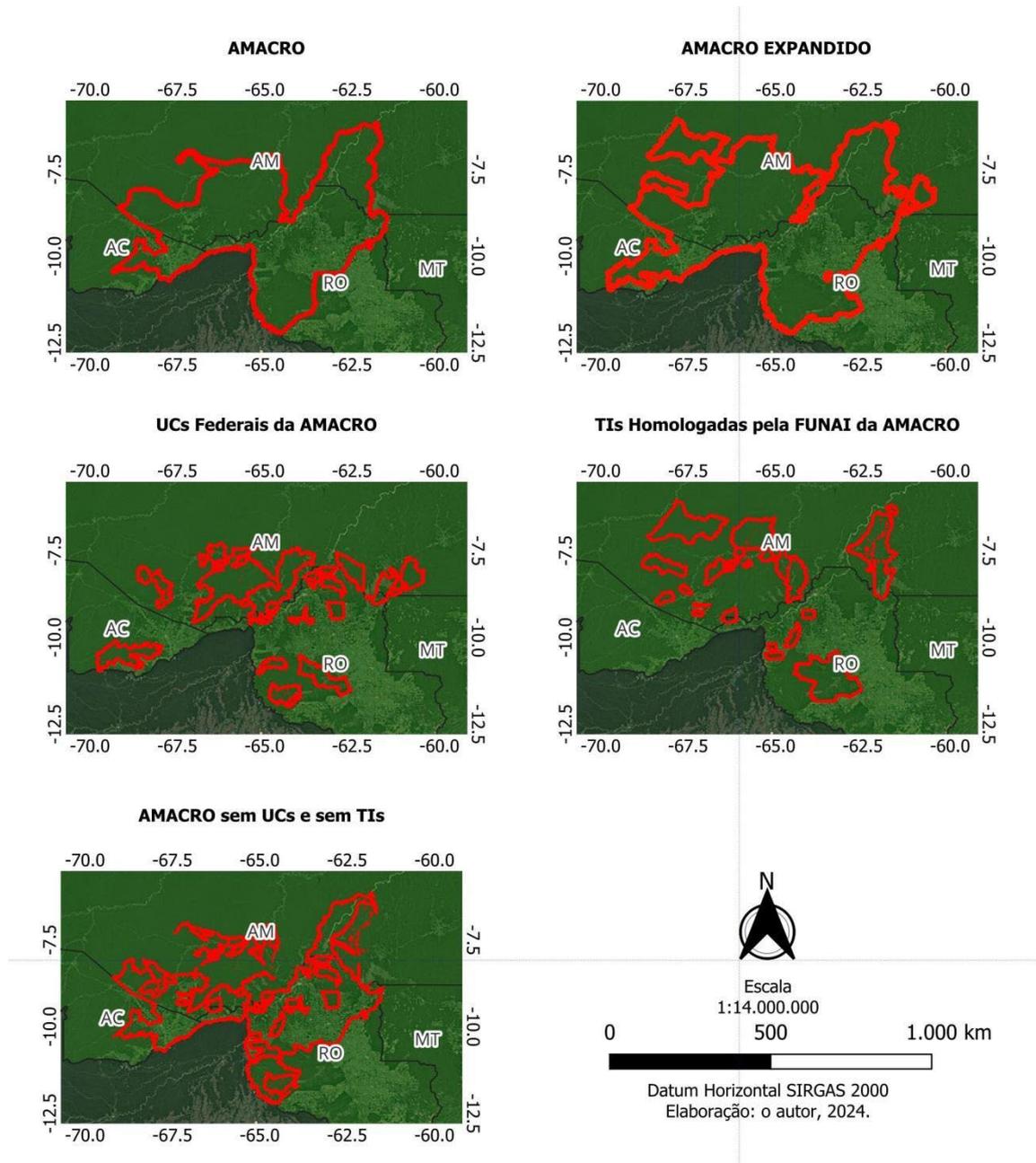
1. **AMACRO:** território composto pelos 23 municípios da AMACRO, conforme Relatório Anual de Desmatamento no Brasil de 2022 (MapBiomias, 2023) e Quadro 2;
2. **AMACRO Expandido (com UCs e TIs):** território expandido da AMACRO, considerando integralmente os territórios todas as UCs e TIs que fazem parte, seja total ou parcialmente, da AMACRO;
3. **UCs:** totalidade da área das Unidades de Conservação Federais que têm seu território integrando, total ou parcialmente, a AMACRO;
4. **TIs:** totalidade da área das Terras Indígenas homologadas pela FUNAI que têm seu território integrando, total ou parcialmente, a AMACRO;
5. **AMACRO sem UCs e sem TIs:** território da AMACRO, desconsiderando as áreas correspondentes à Unidades de Conservação Federais e Terras Indígenas homologadas pela FUNAI.

Dessa forma, pretende-se avaliar a influência de cada configuração no contexto do estoque de biomassa e carbono na região. O Mapa 2 apresenta as áreas de estudo e o Mapa 3 apresenta o recorte para cada uma das cinco áreas de interesse.

Mapa 2 - AMACRO e Áreas Protegidas (Unidades de Conservação Federal e Terras Indígenas Homologadas pela FUNAI).



Mapa 3 - Divisão proposta da AMACRO em cinco territórios para análise: AMACRO, AMACRO Expandido (considerando a AMACRO e as Unidades de Conservação Federal e Terras Indígenas Homologadas pela FUNAI), UCs Federais da AMACRO, TIs Homologadas pela FUNAI da AMACRO e AMACRO sem UCs e sem TIs.



O Mapa 2, confeccionado com base nas informações extraídas do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio, 2023), da Fundação Nacional dos Povos Indígenas (FUNAI, 2021) e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021), mostra que existem 19 Unidades de Conservação Federais (5 de Proteção Integral (PI) e 14 de Uso Sustentável (US)) e 31 Terras Indígenas homologadas pela FUNAI, totalizando aproximadamente 18.780.796,36 ha de áreas protegidas na região (3.926.662,72 ha de UCs de proteção integral, 5.786.602,10 ha de UCs de uso sustentável e 9.067.531,54 ha de TIs) na

AMACRO. O Quadro 3 apresenta as APs da AMACRO consideradas no presente estudo e suas respectivas áreas.

Quadro 3 - Áreas Protegidas da AMACRO e suas respectivas áreas em km² e em ha. Fontes: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio, 2023) e Fundação Nacional dos Povos Indígenas (FUNAI, 2021).

Categoria	Nome	UF	Modalidade/ Categoria	Área (ha)
Unidade de Conservação Federal	Estação Ecológica (Esec) do Cuniã	RO/AM	PI	183.381,38
Unidade de Conservação Federal	Parque Nacional (Parna) de Pacáas Novos	RO	PI	708.935,14
Unidade de Conservação Federal	Parque Nacional dos Campos Amazônicos	RO/MT/AM	PI	965.350,71
Unidade de Conservação Federal	Parque Nacional do Matinguari	AM/RO	PI	1.784.379,16
Unidade de Conservação Federal	Parque Nacional Serra da Cutia	RO	PI	284.616,33
Unidade de Conservação Federal	Floresta Nacional (Flona) de Humaitá	AM	US	478.618,68
Unidade de Conservação Federal	Floresta Nacional de Jacundá	RO	US	221.753,48
Unidade de Conservação Federal	Floresta Nacional do Bom Futuro	RO	US	98.764,30
Unidade de Conservação Federal	Floresta Nacional do Iquiri	AM	US	1.476.351,75
Unidade de Conservação Federal	Floresta Nacional do Jamari	RO	US	223.088,37
Unidade de Conservação Federal	Floresta Nacional Mapiá-Inauini	AM	US	370.499,31

Unidade de Conservação Federal	Reserva Extrativista (Resex) Arapixi	AM	US	134.260,44
Unidade de Conservação Federal	Reserva Extrativista Barreiro das Antas	RO	US	106.616,82
Unidade de Conservação Federal	Reserva Extrativista Chico Mendes	AC	US	935.293,44
Unidade de Conservação Federal	Reserva Extrativista do Lago do Cuniã	RO	US	76.730,98
Unidade de Conservação Federal	Reserva Extrativista do Médio Purús	AM	US	603.102,44
Unidade de Conservação Federal	Reserva Extrativista do Rio do Cautário	RO	US	75.420,49
Unidade de Conservação Federal	Reserva Extrativista do Rio Ouro Preto	RO	US	205.452,03
Unidade de Conservação Federal	Reserva Extrativista Ituxí	AM	US	780.649,57
Terra Indígena	Tenharim Marmelos	AM	Tradicionalmente ocupada	500.247,23
Terra Indígena	Jacareúba/Katauixi (restrição uso)	AM	Interditada	611.421,35
Terra Indígena	Paumari do Rio Ituxi	AM	Tradicionalmente ocupada	7.601,66
Terra Indígena	Nove de Janeiro	AM	Tradicionalmente ocupada	230.402,07
Terra Indígena	Uru-Eu-Wau-Wau	RO	Tradicionalmente ocupada	1.875.900,05
Terra Indígena	Karitiana	RO	Tradicionalmente ocupada	90.092,42
Terra Indígena	Diahui	AM	Tradicionalmente ocupada	47.589,11
Terra Indígena	Tenharim Marmelos (Gleba B)	AM	Tradicionalmente ocupada	476.972,50

Terra Indígena	Pirahã	AM	Tradicionalmente ocupada	348.475,37
Terra Indígena	Igarapé Lage	RO	Tradicionalmente ocupada	107.827,58
Terra Indígena	Ipixuna	AM	Tradicionalmente ocupada	216.250,49
Terra Indígena	Caititu	AM	Tradicionalmente ocupada	312.065,38
Terra Indígena	Igarapé Ribeirão	RO	Tradicionalmente ocupada	48.199,30
Terra Indígena	Apurinã Km 124 BR-317	AM	Tradicionalmente ocupada	42.565,67
Terra Indígena	Torá	AM	Tradicionalmente ocupada	55.304,23
Terra Indígena	Karipuna	RO	Tradicionalmente ocupada	153.919,95
Terra Indígena	Paumari do Lago Maranhã	AM	Tradicionalmente ocupada	119.187,72
Terra Indígena	Boca do Acre	AM	Tradicionalmente ocupada	26.552,93
Terra Indígena	Rio Manicoré	AM	Tradicionalmente ocupada	19.417,79
Terra Indígena	Kaxarari	AM,RO	Tradicionalmente ocupada	146.814,35
Terra Indígena	Igarapé Capana	AM	Tradicionalmente ocupada	131.800,01
Terra Indígena	Seruini/Mariene	AM	Tradicionalmente ocupada	145.534,20
Terra Indígena	Jarawara/Jamamadi/Kanamati	AM	Tradicionalmente ocupada	390.623,61
Terra Indígena	São Pedro do Sepatini	AM	Tradicionalmente ocupada	27.718,11
Terra Indígena	Hi Merimã	AM	Tradicionalmente ocupada	679.726,86
Terra Indígena	Tumiã	AM	Tradicionalmente ocupada	124.723,33
Terra Indígena	Camicua	AM	Tradicionalmente ocupada	58.577,27
Terra Indígena	Alto Sepatini	AM	Tradicionalmente	26.188,11

			ocupada	
Terra Indígena	Inauini/Teuini	AM	Tradicionalmente ocupada	470.285,83
Terra Indígena	Acimã	AM	Tradicionalmente ocupada	40.794,05
Terra Indígena	Deni	AM	Tradicionalmente ocupada	1.534.753,01
Total				18.780.796,36

Por ser uma área localizada no bioma amazônico e relevante alvo de desmatamento e degradação ambiental atualmente, com grande parcela de seu território constituindo APs, o presente estudo visa verificar o carbono estocado na biomassa e no solo da AMACRO e em suas APs. Importante ressaltar que a região da AMACRO possui enclave com fitofisionomias típicas de cerrado, onde a biomassa vegetal se concentra na biomassa viva abaixo do solo (cerca de 70% do total) do referido bioma (SNIF, 2020). Porém, o presente estudo considerou a região inteira da AMACRO e suas regiões de interesse como pertencentes ao bioma amazônico.

O levantamento do estoque de carbono na região é relevante para estimular a implementação de políticas de conservação, a promoção de práticas agrícolas sustentáveis e manejos florestais que favoreçam a floresta em pé, a redução do desmatamento e degradação florestal, além de subsidiar o processo de implementação de uma legislação do carbono no Brasil, ressaltando a importância de mecanismos de mercado sustentáveis social, ambiental e economicamente, ajudando o país a atingir objetivos acordados em âmbito internacional. Para atingir o proposto, o carbono estocado na região da AMACRO foi estimado a partir de ferramentas de sensoriamento remoto.

O presente estudo utilizou a base de dados de Baccini et al. (2012) em t/ha de biomassa viva acima do solo (AGB) do ano de 2010 como base para estimar quanto dessa AGB estava na AMACRO e calcular a AGB e o CO_{2e} na região para os anos de 2010 e 2022, comparando os resultados e observando quanto se perdeu de AGB e CO_{2e} na AMACRO nesse período.

Para 2010, a base de dados de 2010 foi somada com os dados de SOC do MapBiomass para o ano de 2010 e calculado o CO_{2e} em cada área de interesse da AMACRO. Para 2022, a base de dados de 2010 foi atualizada a partir dos dados de desmatamento e regeneração

florestal da camada de transição acumulada do uso e ocupação do solo entre 2010 e 2022 do MapBiomass, aplicando-se uma máscara na base de dados de 2010 e estimando a AGB para 2022. Após, a AGB resultante para 2022 foi somada com os dados de SOC do MapBiomass para 2021, ano mais recente disponível, para o cálculo do CO₂e em cada área de interesse da AMACRO no ano de 2022.

Obtidos os valores de AGB e CO₂e para os anos de 2010 e de 2022, os resultados foram comparados para estimar quanto de biomassa e de dióxido de carbono equivalente se perderam cada uma das cinco regiões de interesse, permitindo observar áreas que sofreram mais com a perda de biomassa e as que sofreram menor pressão. Após a comparação, foi estimado quanto essa perda valeria no mercado madeireiro, no mercado de carbono e de serviços ambientais, e na agropecuária, para verificar se o desmatamento observado foi benéfico financeiramente em suas ativas subsequentes. Além disso, foi realizada uma estimativa do mercado de carbono voluntário a partir de uma metodologia de projetos REDD+, que também foram adaptados para estimar o CPR Verde nesse contexto.

A seguir, serão detalhados os procedimentos metodológicos.

3.2. BIOMASSA E DIÓXIDO DE CARBONO EQUIVALENTE PARA 2010

Os resultados obtidos por Baccini et al. (2012) estão disponíveis para toneladas de AGB por hectare para o ano de 2010, com resolução espacial de 500 metros (cada pixel representado uma área de 25 hectares, com a estimativa de t/ha de AGB), no catálogo da plataforma do *Google Earth Engine*. Os resultados mostraram que no referido ano o Brasil e a Indonésia continham 35% do total de carbono armazenado nas florestas tropicais do mundo e produzem as maiores emissões por perda florestal, sendo estimado que as florestas do Brasil armazenem cerca de 53 GtC. Essa base de dados, uma vez já calibrada e apresentando resultados com intervalo de confiança de 95%, foi utilizada no presente estudo para estimar o carbono estocado na biomassa da região da AMACRO.

Para essa estimativa, primeiramente foram plotados no *Google Earth Engine* os *shapefiles* das regiões de interesse: AMACRO, AMACRO Expandido, AMACRO sem UCs e sem TIs, UCs e TIs

O intuito da divisão dos territórios na configuração apresentada foi de avaliar a influência das APs na quantidade de biomassa e como uma barreira potencial contra o desmatamento, avaliando se essas áreas têm maior potencial para geração de créditos de carbono e serviços ambientais.

Após a inserção das regiões de interesse no *Google Earth Engine*, a base de dados de AGB de Baccini et al. (2012), em *datum* WGS 84, foi recortada para cada uma dessas regiões. Os resultados de AGB foram calculados na plataforma do *Google Earth Engine* a partir de comandos em linguagem de programação *javascript* e comparados com resultados de estudos de inventários florestais disponíveis para a Flona do Jamari e Flona Jacundá (Silva, 2014; Ferreira, 2019) para validação dos dados, onde, pela metodologia aplicada, observou-se que a Flona do Jamari tem em média $264,68 \pm 39,81$ tAGB/ha e a Flona de Jacundá tem a média de $243,27 \pm 32,97$ tAGB/ha.

Silva (2014), avaliou em três áreas de concessão florestal na Flona do Jamari que, antes da exploração, haviam $348,48 \pm 16,02$ tAGB/ha em uma das áreas e, após exploração, havia um total de $294,16 \pm 5,47$ tAGB/ha em áreas exploradas, além de $253,17 \pm 4,43$ tAGB/ha em árvores com diâmetro na altura do peito (DAP) maior que 30 centímetros (cm) e $79,13 \pm 0,17$ tAGB/ha em árvores com DAP menor que 30 cm, totalizando uma média de $332,30 \pm 2,00$ tAGB/ha. Ferreira (2019), avaliou que havia uma média de $284,50 \pm 53,16$ tAGB/ha e $307,33 \pm 50,03$ tAGB/ha antes da exploração e $267,26 \pm 49,81$ tAGB/ha e $293,71 \pm 50,29$ tAGB/ha pós-exploração em duas distintas áreas de concessão florestal na Flona do Jamari; e uma média de $259 \pm 51,38$ tAGB/ha antes da exploração e $262,58 \pm 63,22$ tAGB/ha depois da exploração, em uma área de concessão florestal na Flona do Jacundá. Esses valores apresentam que as médias obtidas a partir da base de dados de Baccini et al. (2012) estão dentro de acordo com os valores obtidos em estudos que levam em consideração inventários florestais. Assim, foram calculadas as estatísticas de média, mediana, quartis, máximo e mínimo de tAGB/ha para cada região de interesse, assim como a soma do total de AGB (tAGB) em cada região, para verificar as áreas que tinham maior estoque de carbono equivalente no ano de 2010.

Validados os dados de AGB, posteriormente foram calculadas as estimativas de BGB a partir de 13,9% (Higuchi, 2015) dos valores de AGB (em t/ha), de serrapilheira a partir de 4% (MCTI, 2020) dos valores da AGB (em t/ha), e da matéria morta a partir de 7% (MCTI, 2020) dos valores de AGB (em t/ha). Esses valores foram somados aos valores de AGB para compor a biomassa dos territórios (AGB + BGB + serrapilheira + matéria morta). Nessa etapa, em termos de total de biomassa, observou-se que os valores de AGB + BGB + serrapilheira + matéria morta.

Ao final, os valores obtidos para AGB + BGB + serrapilheira + matéria morta foram multiplicados por 48% (Higuchi e Carvalho Jr., 1994) para estimar o carbono estocado em biomassa em cada região (em tC/ha) e, posteriormente, os valores de carbono estocado em biomassa foram multiplicados por 3,67 (FACE, 1994; Oliveira Junior et al., 2022) para obter-se o CO₂e (tCO₂e/ha) na biomassa da AMACRO e suas regiões de interesse para o ano de 2010. Os valores de cada pixel da base de dados foram atualizados para o total de tCO₂e/ha na biomassa total e foram calculadas as estatísticas de média, mediana, quartis, máximo e mínimo de tCO₂/ha em biomassa para cada região de interesse, assim como a soma do total de CO₂e (tCO₂e) em cada região, para verificar as áreas que tinham maior estoque de carbono equivalente no ano de 2010.

O MapBiomass também disponibiliza suas bases de dados no *Google Earth Engine*, além do próprio *dashboard*, permitindo que análises sejam feitas em regiões além das disponíveis na sua plataforma online. Assim, para estimar o carbono no solo na AMACRO, foi utilizada a base de dados do MapBiomass Solo (2023) no *Google Earth Engine*, a qual apresenta resultados de estoque de SOC em tSOC/ha, com resolução espacial de 30 metros para o ano de 2010. A base de dados foi reprojeta para *datum* WGS 84 e reamostrada para 500 metros, mesmas configurações da base de dados de Baccini et al. (2012), e foram obtidos os resultados e as estatísticas de SOC em tSOC/ha para o ano de 2010 em cada região de interesse. Os dados de SOC obtidos foram multiplicados por 3,67 (FACE, 1994; Oliveira Junior et al., 2022) para obter-se a quantidade de CO₂e no solo da região da AMACRO.

Depois de estimados o total de carbono estocado na biomassa e no solo da AMACRO, os resultados foram somados e integrados em uma mesma base de dados, com *datum* WGS 84 e resolução espacial de 500 metros, onde cada pixel representa o total de carbono estocado em biomassa e no solo em tCO₂e/ha. O resultado final apresenta um mapa onde cada pixel contém o valor de CO₂e em t/ha no ano de 2010 para a região da AMACRO e cada uma das cinco regiões de interesse. Foram observadas e discutidas as médias dos valores dos pixels em cada região de interesse em tCO₂e/ha, além do somatório total dos valores dos pixels de cada região considerando a área total de cada território em tCO₂e.

3.3. BIOMASSA E DIÓXIDO DE CARBONO EQUIVALENTE PARA 2022

Para estimar o carbono estocado na AMACRO em 2022, inicialmente foram obtidos os dados do arquivo de Uso e Cobertura do Solo da Coleção 8.0 do MapBiomass (MapBiomass, 2022) no *Google Earth Engine* para as regiões de estudo. O arquivo foi utilizado para

observar as áreas acumuladas que foram desmatadas (transições de cobertura florestal ou áreas naturais não florestais para agropecuária ou áreas não vegetadas, representadas pela classe 315 do arquivo) e regeneradas (transições de classes de agropecuária ou áreas não vegetadas para cobertura florestal ou áreas naturais não florestais, representadas pela classe 1512) na AMACRO entre 2010 e 2022.

A imagem do uso e cobertura do solo da AMACRO foi baixada do *Google Earth Engine* em formato *geotiff* e aberta no *software* livre QGIS 3.28.0., as classes 315 e 1512 foram então isoladas das demais a partir de seu arquivo *geotiff* no QGIS e, a partir disso, o arquivo novo foi submetido ao *Google Earth Engine* para aplicação de uma máscara na base de dados de Baccini et al. (2012) de 2010 e cálculo de suas respectivas áreas em hectares. A máscara teve o intuito de converter os valores de AGB para zero nas áreas em que se observou desmatamento (classe 315) e estimar o valor atual de AGB nas áreas que foram alvo de regeneração (classe 1512), a partir de uma estimativa *kernel* de convolução 1x1, onde cada elemento da máscara correspondente ao valor 1512 é multiplicado pelo valor dos pixels vizinhos ao pixel correspondente na imagem original, somando-se o resultado para obter o valor do novo pixel na imagem filtrada.

Com o resultado da máscara, obteve-se a base de dados de Baccini et al. (2012) estimada em AGB para 2022, onde as áreas observadas como desmatadas entre 2010 e 2022 pelo arquivo de Uso e Cobertura do Solo da Coleção 8.0 do MapBiomas tiveram seu valor de AGB como zero, e as áreas regeneradas tiveram seu valor de AGB estimados *kernel* de convolução 1x1. A partir disso, somou-se os novos dados obtidos de AGB, fez-se as estimativas de AGB + BGB + serapilheira + matéria morta para 2022, assim como a estimativa de C e CO_{2e} e, posteriormente, somou-se os resultados com os dados de SOC do MapBiomas para o ano de 2021 (dados mais recentes disponíveis à época) e repetiu-se os procedimentos para estimativa do CO_{2e} em cada área para o ano de 2022, conforme a estimativa realizada para 2010.

Como resultado, obteve-se um mapa onde cada pixel contém o valor de CO_{2e} em t/ha no ano de 2022 para a região da AMACRO e cada uma das cinco regiões de interesse. Foram observadas e discutidas as médias dos valores dos pixels em cada região de interesse em tCO_{2e}/ha, além do somatório total dos valores dos pixels de cada região considerando a área total de cada território em tCO_{2e}.

3.4.COMPARAÇÃO ENTRE 2010 E 2022 E ESTIMATIVA MONETÁRIA

Depois de obtidos os dados de AGB e de CO₂e para as cinco regiões de interesse (AMACRO, AMACRO Expandido, AMACRO sem UCs e sem TIs, UCs e TIs), os valores correspondentes ao ano de 2022, para AGB e CO₂e, foram subtraídos de seus respectivos valores do ano de 2010. Com isso, pretendeu-se observar a evolução em termos de quantidade de biomassa viva acima do solo na AMACRO e o equivalente da biomassa em dióxido de carbono equivalente, verificando as áreas que mais perderam em AGB e em CO₂e. Também foram calculadas as diferenças de áreas florestais na região, entre os anos 2010 e 2022, com dados do MapBiomias.

Para a estimativa de valor monetário no mercado madeireiro, a AGB subtraída entre 2010 e 2022 foi multiplicada por 65,6% para representar a porcentagem correspondente a troncos (Higuchi, 1998) e, posteriormente, o resultado em toneladas dessa multiplicação foi dividido pela densidade média da madeira desmatada do arco do desmatamento amazônico de 0,631 t/m³ conforme Nogueira et al. (2021), para obter os valores em m³ de madeira. Os valores médios de referência para conversão do m³ de madeira para valores monetários são US\$ 13,33/m³ para a madeira em pé na Amazônia (R\$ 68,84/m³ conforme Batista et al. (2021), considerando a média do dólar comercial de US\$ 5,17 para o ano de 2022 (Banco Central do Brasil, 2024)), e para estimar o valor da AGB no mercado da madeira em tora é de US\$ 37,87/m³ (R\$ 195,60/m³, conforme o FIEAC (2024), considerando a média do dólar comercial de US\$ 5,17 para o ano de 2022 (Banco Central do Brasil, 2024)).

A estimativa monetária no mercado de carbono voluntário e em serviços ambientais, nas cinco regiões de interesse, foi realizada conforme Pereira & Siena (2024), multiplicando-se o valor obtido em tCO₂e em cada área de interesse por US\$ 7,23 valor médio sugerido por Alves e Diniz (2020), e por US\$ 25,28 para estimar o valor em CPR Verde, conforme os valores obtidos pelo Projeto *Green Guardians* (2024) de R\$ 130,60, considerando a média do dólar comercial de US\$ 5,17 para o ano de 2022 (Banco Central do Brasil, 2024).

Para a estimativa monetária considerando que a área desmatada foi convertida em agropecuária, utilizou-se a área em hectares obtida na classe 315 observadas como desmatadas entre 2010 e 2022 pelo arquivo de Uso e Cobertura do Solo da Coleção 8.0 do MapBiomias multiplicada pelo valor de US\$ 589,27 por hectare, conforme sugerido por Alves e Diniz (2020) para o custo médio de oportunidade estimado do uso da terra na região amazônica.

Assim, os valores estimados nos mercados madeireiros, de carbono e serviços ambientais, e na agropecuária, para cada uma das cinco regiões de interesse, além de cada uma das UCs e TIs, foram comparados para verificar qual seria mais vantajoso economicamente nesse cenário.

Foi realizada também uma estimativa monetária para os projetos REDD+ e CPR Verde nas regiões de UCs e TIs da AMACRO, considerando a área florestal em 2010 como linha de base e referência inicial e a taxa de desmatamento observada entre 2010 e 2022, com base na maior taxa registrada de 19,60% para a AMACRO sem UCs e TIs. O cálculo foi feito comparando o desmatamento ocorrido durante o período com a linha de base, que representa o cenário de desmatamento esperado em toda a região considerando a taxa acumulada de 19,60% em 13 anos completos (2010 a 2022), além do estoque de carbono remanescente em 2022 (tCO_{2e}/ha). Para o cálculo do estoque de carbono, foi subtraído do remanescente de tCO_{2e}/ha em 2022 o custo de oportunidade das áreas desmatadas convertidas em pastagem, estimado em 27,94 tCO_{2e}/ha (7,53 MgC/ha, convertido em CO_{2e} – Sanquetta et al., 2019). Esses valores foram ajustados para um fator de vazamento de 10%, que corresponde à quantidade de emissões de GEE causadas pelo desmatamento que ocorre fora do local alvo do projeto, conforme o projeto REDD+ Resex Rio Preto-Jacundá (Verra, 2016). Para os valores monetários, foram aplicados US\$ 10,14 por tCO_{2e} para os projetos REDD+, conforme o Ecosystem Marketplace (2024), e US\$ 25,28 para os projetos de CPR Verde, com base nos dados do Projeto *Green Guardians* (2024).

A metodologia utilizada como base para essa estimativa é a VM0015 Metodologia para Desmatamento não Planejado Evitado, da certificadora Verra. O VM0015 fixa o período de referência da linha de base em 10 anos, mas, no presente estudo, considerou-se o intervalo de 2010 a 2022, com a data final desse período escolhida para ser o mais próxima possível da data de início do projeto, conforme exige a metodologia. Essa escolha foi feita como uma adaptação, já que as fontes de dados para a região da AMACRO estão nessa janela temporal e as demais estimativas monetárias foram feitas considerando esse intervalo.

Além disso, os projetos REDD+ foram considerados apenas para as áreas protegidas (UCs e TIs), que atuam como barreiras contra o desmatamento, estabelecendo um cenário de proteção. A taxa de desmatamento observada na AMACRO sem UCs e TIs foi utilizada como referência, representando o desmatamento potencial que poderia ocorrer nas áreas protegidas caso elas não tivessem proteção legal.

Entretanto, outras limitações importantes devem ser consideradas em relação à abordagem realizada a partir da metodologia VM0015. Primeiramente, o uso de dados temporais e espaciais específicos pode não representar a totalidade das dinâmicas de desmatamento na região, especialmente em áreas não protegidas ou em locais com padrões de uso do solo mais complexos. A resolução espacial de 500 metros adotada pode não captar adequadamente as variações de carbono em áreas de transição entre UCs e regiões não protegidas. Além disso, a adaptação da linha de base para o período de 2010 a 2022, embora justificada pelos dados disponíveis, pode não refletir a complexidade das mudanças no uso do solo ao longo do tempo.

Outro aspecto relevante é a questão do vazamento. A metodologia VM0015 exige uma avaliação detalhada do deslocamento de atividades que contribuem para emissões fora das áreas protegidas. No entanto, este estudo focou no desmatamento acumulado ao longo de 13 anos, sem uma análise mais minuciosa ano a ano. Um resultado mais preciso poderia ser obtido a partir da avaliação das emissões deslocadas e seus impactos no estoque de carbono regional com um monitoramento anual das atividades.

Também, a simplificação dos fatores de emissão não-CO₂ representa outra limitação. A metodologia exige que gases não-CO₂, como o metano (CH₄) liberado pela queima de biomassa, sejam contabilizados em determinadas situações. Contudo, esta análise não incluiu esses gases, o que pode subestimar o impacto total das emissões de gases de efeito estufa na região da AMACRO, especialmente em áreas onde a queima de biomassa ou incêndios florestais são comuns.

Por fim, é importante destacar as especificidades do CPR Verde. Diferente dos projetos REDD+, que seguem metodologias internacionais como a VM0015, o CPR Verde é um instrumento voltado para a conservação no contexto nacional brasileiro. Embora ambos compartilhem o objetivo de promover a conservação ambiental e gerar créditos de carbono, as regras e metodologias aplicadas no CPR Verde podem introduzir variações nos cálculos de valoração. Portanto, os valores monetários atribuídos ao CPR Verde devem ser vistos como estimativas aproximadas, e não como reflexos diretos dos métodos usados para calcular créditos de carbono em projetos REDD+.

Essas considerações e limitações são fundamentais para compreender a abordagem simplificada adotada neste estudo. Embora não englobem todos os fatores que a metodologia

VM0015 exige, permitem uma estimativa dos impactos econômicos e ambientais dos projetos que evitam o desmatamento na região.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos permitiram avaliar o estoque de tAGB/ha e de tCO_{2e}/ha na região da AMACRO e suas APs, além do total de tAGB e tCO_{2e} nos territórios em questão, para os anos de 2010 e 2022, a partir dos dados de biomassa viva acima do solo (Baccini et al., 2012) e de carbono orgânico do solo do MapBiomias. Por meio das bases de dados do MapBiomias, foi possível observar a evolução da área em termos de uso e cobertura do solo, com foco nas áreas desmatadas, entre os anos de 2010 e 2022.

4.1. BIOMASSA VIVA ACIMA DO SOLO

Em termos de AGB, foram realizadas duas avaliações para os anos de 2010 e 2022: quanto cada área de interesse tem em média de tAGB/ha, a partir da média dos pixels no território; além de quanto cada área possui de total de tAGB dentro do seu território, a partir do somatório dos valores dos pixels dentro de cada área.

4.1.1. Média de Biomassa Viva Acima do Solo

Observou-se que a AMACRO tinha em média $228,39 \pm 80,02$ tAGB/ha em 2010, e $211,18 \pm 100,01$ tAGB/ha em 2022. A AMACRO Expandido tinha em média $237,80 \pm 80,05$ tAGB/ha em 2010, e $223,83 \pm 98,13$ tAGB/ha em 2022. As UCs possuíam uma média de $263,22 \pm 59,46$ tAGB/ha em 2010, e $261,45 \pm 63,73$ tAGB/ha em 2022. As TIs possuíam uma média de $273,59 \pm 62,38$ tAGB/ha em 2010, e $272,94 \pm 64,28$ tAGB/ha em 2022. O território da AMACRO sem UCs e sem TIs possuía uma média de $198,98 \pm 82,26$ tAGB/ha em 2010, e $170,17 \pm 103,9$ tAGB/ha em 2022.

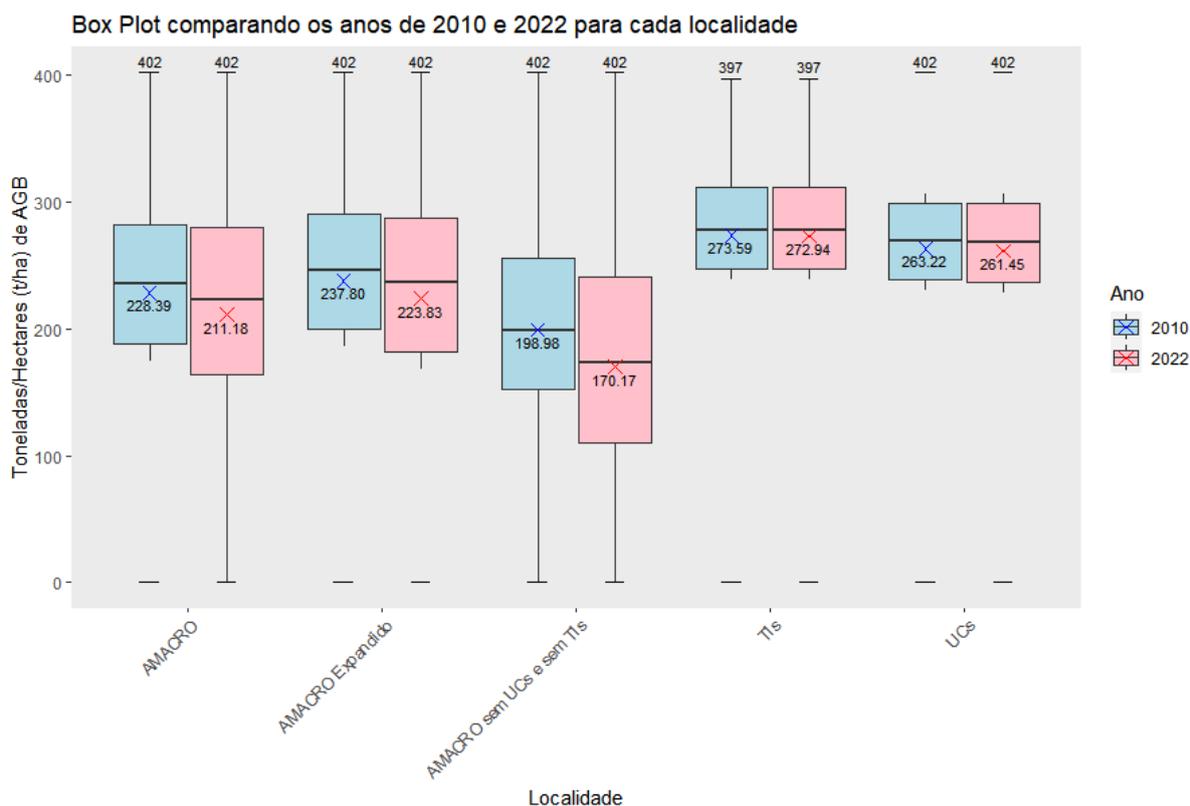


Figura 1 - Quantidade de toneladas de AGB por hectare, em cada região de interesse na AMACRO em 2010 e em 2022.

Os resultados para as cinco regiões de interesse foram:

Tabela 1 - Quantidade de toneladas de AGB por hectare, em cada região de interesse na AMACRO em 2010 e em 2022.

	2010	2022
AMACRO Expandido	237,8 ± 80,05 tAGB/ha	223,83 ± 98,13 tAGB/ha
AMACRO	228,39 ± 80,02 tAGB/ha	211,18 ± 100,01 tAGB/ha
AMACRO sem UCs e sem TIs	198,98 ± 82,26 tAGB/ha	170,17 ± 103,9 tAGB/ha
TIs	273,59 ± 62,38 tAGB/ha	272,94 ± 64,28 tAGB/ha
UCs	263,22 ± 59,46 tAGB/ha	261,45 ± 63,73 tAGB/ha

Na avaliação das TIs, os territórios Deni, Acimã e Inauini/Teuini, se destacaram por possuírem as maiores médias de tAGB/ha para 2022 com, respectivamente, 337,74 ± 19,13 tAGB/ha, 325,53 ± 21,30 tAGB/ha e 324,75 ± 20,68 tAGB/ha.

As TIs com os menores valores médios de tAGB/ha para 2022 foram Tenharim Marmelos, Jacareúba/Katauixi e Paumari do Rio Ituxi com, respectivamente, 171,40 ± 97,39 tAGB/ha, 226,93 ± 40,96 tAGB/ha e 229,59 ± 38,95 tAGB/ha.

Os resultados para 2010 e 2022 para as TIs, foram:

Tabela 2 - Quantidade de toneladas de AGB por hectare, em cada TI da AMACRO em 2010 e em 2022.

	2010	2022
Acimã	325,53 ± 21,31 tAGB/ha	325,53 ± 21,31 tAGB/ha
Alto Sepatini	319,8 ± 16,49 tAGB/ha	319,8 ± 16,49 tAGB/ha
Apurinã km 124 BR-317	264,82 ± 53,89 tAGB/ha	261,27 ± 65,49 tAGB/ha
Boca do Acre	275,82 ± 54,79 tAGB/ha	271,99 ± 65,36 tAGB/ha
Caititu	250,45 ± 38,51 tAGB/ha	250,21 ± 39,36 tAGB/ha
Camicua	319,93 ± 36,66 tAGB/ha	319,68 ± 38,76 tAGB/ha
Deni	337,79 ± 18,66 tAGB/ha	337,74 ± 19,13 tAGB/ha
Diahui	244,99 ± 36,39 tAGB/ha	244,89 ± 36,76 tAGB/ha
Hi Merimã	318,27 ± 19,09 tAGB/ha	318,27 ± 19,09 tAGB/ha
Igarapé Capana	303,56 ± 21,74 tAGB/ha	303,56 ± 22,08 tAGB/ha
Igarapé Lage	248,71 ± 41,99 tAGB/ha	246,62 ± 50,08 tAGB/ha
Igarapé Ribeirão	251,01 ± 42,07 tAGB/ha	249,05 ± 52,69 tAGB/ha
Inauini/Teuini	324,74 ± 20,68 tAGB/ha	324,74 ± 20,68 tAGB/ha
Ipixuna	249,55 ± 30,22 tAGB/ha	249,18 ± 31,9 tAGB/ha
Jacareúba/Katauixi	226,97 ± 40,76 tAGB/ha	226,93 ± 40,95 tAGB/ha
Jarawara/Jamamadi/Kanamati	312,62 ± 24,91 tAGB/ha	312,6 ± 25,26 tAGB/ha
Karipuna	271,97 ± 29,48 tAGB/ha	262,17 ± 62,64 tAGB/ha
Karitiana	243,2 ± 33,87 tAGB/ha	242,03 ± 38,42 tAGB/ha
Kaxarari	299,59 ± 26,25 tAGB/ha	298,14 ± 39,83 tAGB/ha
Nove de Janeiro	238,23 ± 40,37 tAGB/ha	238,17 ± 40,72 tAGB/ha
Paumari do Lago Marahã	272,69 ± 40,85 tAGB/ha	271,86 ± 43,54 tAGB/ha
Paumari do Rio Ituxi	230,33 ± 37,03 tAGB/ha	229,59 ± 38,95 tAGB/ha
Pirahã	248,1 ± 34,16 tAGB/ha	247,36 ± 36,74 tAGB/ha
São Pedro do Sepatini	313,45 ± 25,91 tAGB/ha	313,45 ± 25,91 tAGB/ha
Seruini Mariene	308,2 ± 29,76 tAGB/ha	308,1 ± 30,27 tAGB/ha
Tenharim Marmelos	171,55 ± 97,28 tAGB/ha	171,4 ± 97,38 tAGB/ha
Tenharim Marmelos Gleba B	244,36 ± 40,25 tAGB/ha	243,54 ± 43,17 tAGB/ha
Torá	265,4 ± 44,54 tAGB/ha	265,11 ± 45,49 tAGB/ha
Tumiã	319,4 ± 15,42 tAGB/ha	319,4 ± 15,42 tAGB/ha
Uru Eu Wau Wau	240,26 ± 46,06 tAGB/ha	239 ± 49,97 tAGB/ha

Na avaliação das UCs, os territórios Flona Mapiá-Inauini, Flona do Iquiri e Parna Barreiro da Antas se destacaram por possuírem as maiores médias de tAGB/ha para 2022 com, respectivamente, 319,67 ± 23,44 tAGB/ha, 316,22 ± 31,19 tAGB/ha e 301,37 ± 51,67 tAGB/ha.

As UCs com os menores valores médios de tAGB/ha para 2022 foram Flona do Bom Futuro, Esec Cuniã e Parna dos Campos Amazônicos com, respectivamente, 171,40 ± 97,39 tAGB/ha, 226,93 ± 40,96 tAGB/ha e 229,59 ± 38,95 tAGB/ha.

Os resultados para 2010 e 2022 para as UCs, foram:

Tabela 3 - Quantidade de toneladas de AGB por hectare, em cada UC Federal da AMACRO em 2010 e em 2022.

	2010	2022
Esec Cuniã	220,77 ± 46,19 tAGB/ha	220,58 ± 46,88 tAGB/ha
Flona do Bom Futuro	217,37 ± 36 tAGB/ha	203,72 ± 67,41 tAGB/ha
Flona Humaitá	239,72 ± 37,86 tAGB/ha	239,72 ± 37,86 tAGB/ha
Flona Iquiri	316,45 ± 29,31 tAGB/ha	316,22 ± 31,19 tAGB/ha
Flona Jacundá	243,51 ± 33,08 tAGB/ha	243,06 ± 36,44 tAGB/ha
Flona Jamari	263,98 ± 40,72 tAGB/ha	263,92 ± 41,05 tAGB/ha
Flona Mapiá-Inauini	319,73 ± 23,02 tAGB/ha	319,67 ± 23,44 tAGB/ha
Parna Barreiro das Antas	301,37 ± 51,66 tAGB/ha	301,37 ± 51,66 tAGB/ha
Parna Campos Amazônicos	227,23 ± 80,54 tAGB/ha	226,62 ± 81,38 tAGB/ha
Parna Mapinguari	232,22 ± 54,04 tAGB/ha	231,79 ± 55,17 tAGB/ha
Parna Pacáas Novos	237,17 ± 47,79 tAGB/ha	235,96 ± 51,23 tAGB/ha
Parna Serra da Cutia	279,34 ± 44,15 tAGB/ha	279,12 ± 44,91 tAGB/ha
Resex Arapixi	298,46 ± 41,66 tAGB/ha	296,42 ± 48,87 tAGB/ha
Resex Chico Mendes	258,48 ± 45,67 tAGB/ha	245,9 ± 72,5 tAGB/ha
Resex Ituxi	274,78 ± 35,85 tAGB/ha	274,65 ± 36,39 tAGB/ha
Resex Lago do Cuniã	230,47 ± 33,4 tAGB/ha	230,1 ± 34,79 tAGB/ha
Resex Médio Purús	299,12 ± 57,33 tAGB/ha	298,69 ± 58,39 tAGB/ha
Resex Rio Cautário	268,9 ± 42,27 tAGB/ha	268,63 ± 43,42 tAGB/ha
Resex Rio Ouro Preto	260 ± 58,65 tAGB/ha	257,36 ± 65,61 tAGB/ha

Os resultados obtidos estão de acordo com o observado na literatura, com valores de referência em cerca de 163 tAGB/ha para a floresta densa amazônica (Piva et al., 2021) e valores que indicavam valores entre 250 e 350 tAGB/ha (Saatchi et al., 2011; Avitabile et al., 2016), assim como, na Amazônia Central, de 397,7 ± 30,0 tAGB/ha (Nascimento, 2002).

4.1.2. Total de Biomassa Viva Acima do Solo

Observou-se que a AMACRO tinha um total de 5.917.176.695,00 tAGB em 2010 e 5.471.278.967,53 tAGB em 2022, apresentando uma diferença de 445.897.727,47 tAGB no período.

A AMACRO Expandido tinha um total de 7.814.102.430,29 tAGB em 2010 e 7.355.060.571,41 tAGB em 2022, apresentando uma diferença de 459.041.858,89 tAGB no período.

As UCs possuíam um total de 2.594.146.760,78 tAGB em 2010 e 2.576.695.503,08 tAGB em 2022, apresentando uma diferença de 17.451.257,70 tAGB no período.

As TIs possuíam um total de 2.528.705.422,84 tAGB em 2010 e 2.522.682.345,77 tAGB em 2022, apresentando uma diferença de 6.023.077,07 tAGB no período.

O território da AMACRO sem UCs e sem TIs possuía um total de 3.014.002.596,76 tAGB em 2010 e 2.577.537.725,12 tAGB em 2022, apresentando uma diferença de 436.464.871,64 tAGB no período.

Os resultados para as cinco regiões de interesse foram:

Tabela 4 - Quantidade total de toneladas de AGB em cada região de interesse na AMACRO em 2010 e em 2022.

	Total de AGB em 2010 (toneladas)	Total de AGB em 2022 (toneladas)	Diferença do Total de AGB entre 2010 e 2022 (toneladas)
AMACRO	5.917.176.695,00	5.471.278.967,53	-445.897.727,47
AMACRO Expandido	7.814.102.430,29	7.355.060.571,41	-459.041.858,89
AMACRO sem UCs e sem TIs	3.014.002.596,76	2.577.537.725,12	-436.464.871,64
TIs	2.528.705.422,84	2.522.682.345,77	-6.023.077,07
UCs	2.594.146.760,78	2.576.695.503,08	-17.451.257,70

Na avaliação das TIs, os territórios Deni, Uru Eu Wau Wau e Hi merimã, se destacaram por possuírem os maiores estoques de AGB em seus territórios em 2022 com, respectivamente, 523.166.885,69 tAGB, 458.064.073,33 tAGB e 218.422.865,10 tAGB.

As TIs com os menores estoques de AGB em seus territórios em 2022 foram Paumari do Rio Ituxi, Boca do Acre e Alto Sepatini com, respectivamente, 1.763.102,45 tAGB, 7.327.530,88 tAGB e 8.475.096,08 tAGB.

As maiores perdas de AGB observadas entre 2010 e 2022 foram nas TIs Uru Eu Wau Wau, com perda de 2.411.306,47 tAGB; Karipuna, com perda de 1.535.383,33 tAGB; e Tenharim Marmelos Gleba B, com perda de 395.884,41 tAGB.

Os resultados para 2010 e 2022 para as TIs, foram:

Tabela 5 - Quantidade total de toneladas de AGB em cada TI da AMACRO em 2010 e em 2022.

	AGB em 2010 (toneladas)	AGB em 2022 (toneladas)	Diferença de AGB entre 2010 e 2022 (toneladas)
Acimã	13.433.063,33	13.433.063,33	0,00
Alto Sepatini	8.475.096,08	8.475.096,08	0,00
Apurinã km 124 BR-317	11.446.789,90	11.293.355,00	-153.434,90
Boca do Acre	7.430.814,41	7.327.530,88	-103.283,53
Caititu	79.071.428,63	78.995.696,83	-75.731,80
Camicua	18.994.934,61	18.979.823,53	-15.111,08
Deni	523.242.884,51	523.166.885,69	-75.998,82
Diahui	11.796.818,73	11.792.118,73	-4.700,00
Hi Merimã	218.422.865,10	218.422.865,10	0,00
Igarapé Capana	40.578.409,31	40.578.349,02	-60,29
Igarapé Lage	27.336.107,45	27.106.420,39	-229.687,06
Igarapé Ribeirão	12.322.286,76	12.226.079,51	-96.207,25
Inauini/Teuini	154.529.554,22	154.529.554,22	0,00
Ipixuna	54.464.432,84	54.384.532,84	-79.900,00
Jacareúba/Katauixi	140.520.064,90	140.495.310,88	-24.754,02
Jarawara/Jamamadi/Kanamati	123.346.962,75	123.340.006,96	-6.955,78
Karipuna	42.596.729,61	41.061.346,27	-1.535.383,33
Karitiana	22.250.992,94	22.144.102,75	-106.890,20
Kaxarari	44.680.268,73	44.463.190,29	-217.078,43
Nove de Janeiro	55.476.323,24	55.462.251,99	-14.071,24
Paumari do Lago Marahã	32.861.617,84	32.760.904,01	-100.713,83
Paumari do Rio Ituxi	1.768.827,45	1.763.102,45	-5.725,00
Pirahã	87.316.418,82	87.055.668,82	-260.750,00
São Pedro do Sepatini	8.787.910,88	8.787.910,88	0,00
Seruini Mariene	45.410.946,27	45.395.246,27	-15.700,00
Tenharim Marmelos	86.934.771,86	86.857.197,25	-77.574,61
Tenharim Marmelos Gleba B	117.776.056,86	117.380.172,45	-395.884,41
Torá	14.796.993,63	14.780.818,63	-16.175,00
Tumiã	40.310.231,86	40.310.231,86	0,00
Uru Eu Wau Wau	460.475.379,80	458.064.073,33	-2.411.306,47

Na avaliação das UCs, os territórios Flona do Iquiri, Parna Mapinguari e Resex Chico Mendes, se destacaram por possuírem os maiores estoques de AGB em seus territórios em 2022 com, respectivamente, 473.140.273,04 tAGB, 419.115.556,08 tAGB e 234.420.326,57 tAGB.

As UCs com os menores estoques de AGB em seus territórios em 2022 foram Resex Lago do Cuniã, Flona do Bom Futuro e Resex Rio Cautário com, respectivamente, 17.887.272,82 tAGB, 20.441.853,43 tAGB e 20.743.985,78 tAGB.

As maiores perdas de AGB observadas entre 2010 e 2022 foram nas UCs Resex Chico Mendes, com perda de 11.992.092,06 tAGB; Flona do Bom Futuro, com perda de 1.370.019,61 tAGB; e Parna Pacáas Novos, com perda de 878.662,25 tAGB.

Os resultados para 2010 e 2022 para as UCs, foram:

Tabela 6 - Quantidade total de toneladas de AGB em cada UC Federal da AMACRO em 2010 e em 2022.

	AGB em 2010 (toneladas)	AGB em 2022 (toneladas)	Diferença de AGB entre 2010 e 2022 (toneladas)
Esec Cuniã	40.988.619,51	40.952.675,75	-35.943,76
Flona do Bom Futuro	21.811.873,04	20.441.853,43	-1.370.019,61
Flona Humaitá	116.135.311,37	116.135.311,37	0,00
Flona Iquiri	473.481.787,94	473.140.273,04	-341.514,90
Flona Jacundá	54.696.704,31	54.596.037,65	-100.666,67
Flona Jamari	59.763.091,47	59.749.118,66	-13.972,81
Flona Mapiá-Inauini	119.984.008,92	119.960.508,92	-23.500,00
Parna Barreiro das Antas	32.864.681,08	32.864.681,08	0,00
Parna Campos Amazônicos	222.214.334,31	221.613.235,39	-601.098,92
Parna Mapinguari	419.898.736,08	419.115.556,08	-783.180,00
Parna Pacáas Novos	171.744.537,75	170.865.875,49	-878.662,25
Parna Serra da Cutia	81.357.946,67	81.294.021,67	-63.925,00
Resex Arapixi	40.645.843,33	40.367.786,67	-278.056,67
Resex Chico Mendes	246.412.418,63	234.420.326,57	-11.992.092,06
Resex Ituxi	217.296.377,45	217.196.194,71	-100.182,75
Resex Lago do Cuniã	17.915.685,78	17.887.272,82	-28.412,96
Resex Médio Purús	182.387.556,08	182.122.767,03	-264.789,05
Resex Rio Cautário	20.764.515,98	20.743.985,78	-20.530,20
Resex Rio Ouro Preto	54.494.211,27	53.939.552,84	-554.658,43

4.2. CARBONO ORGÂNICO NO SOLO

Em termos de SOC, foram realizadas duas avaliações para os anos de 2010 e 2021 (período mais recente disponível): quanto cada área de interesse tem em média de tSOC/ha, a partir da média dos pixels da base de dados do MapBiomias Solo dentro de cada território; além de quanto cada área possui de tSOC total dentro do seu território, a partir do somatório dos valores dos pixels da base de dados do MapBiomias Solo dentro de cada área.

4.2.1. Média de Carbono Orgânico no Solo

Observou-se que a AMACRO tinha em média $37,05 \pm 9,92$ tSOC/ha em 2010, e $37,04 \pm 10,07$ tSOC/ha em 2022. A AMACRO Expandido tinha em média $38,64 \pm 10,86$ tSOC/ha em 2010, e $38,65 \pm 11,07$ tSOC/ha em 2022. As UCs possuíam uma média de $38,24 \pm 7,79$ tSOC/ha em 2010, e $38,18 \pm 7,98$ tSOC/ha em 2022. As TIs possuíam uma média de $45,92 \pm 11,8$ tSOC/ha em 2010, e $46,04 \pm 12,15$ tSOC/ha em 2022. O território da AMACRO sem UCs e sem TIs possuía uma média de $34,53 \pm 9,36$ tSOC/ha em 2010, e $34,51 \pm 9,46$ tSOC/ha em 2022.

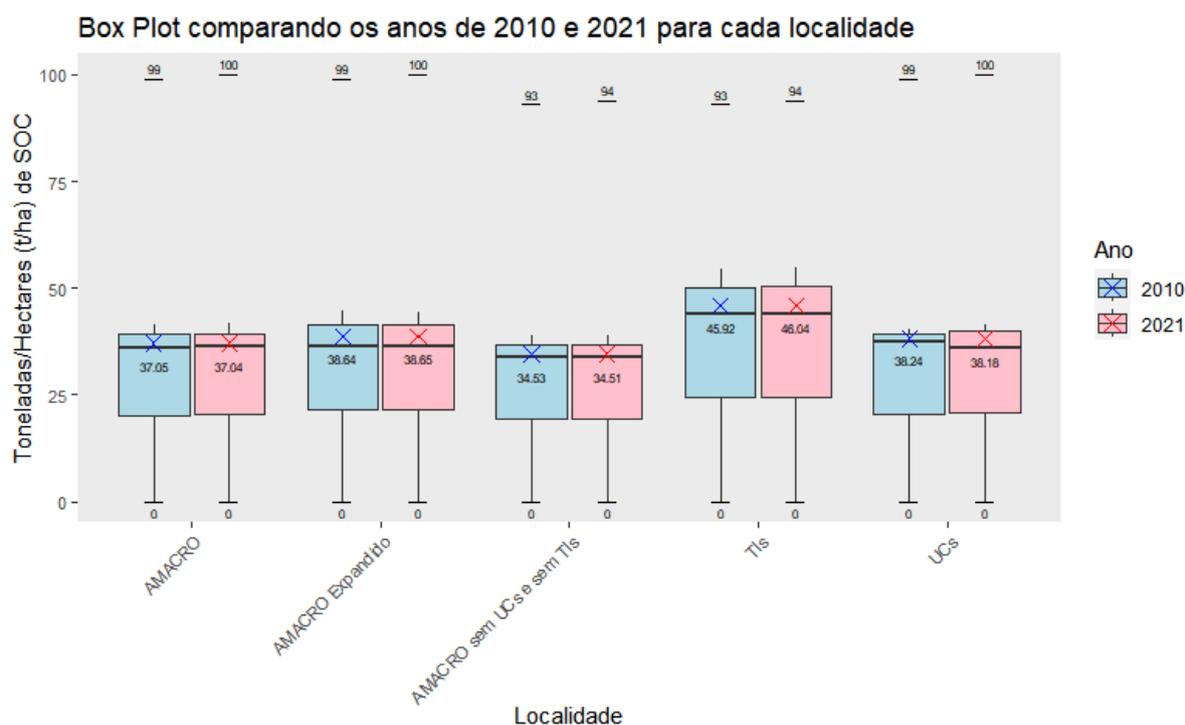


Figura 2 - Quantidade de toneladas de SOC por hectare, em cada região de interesse na AMACRO em 2010 e em 2022.

Os resultados para as cinco regiões de interesse foram:

Tabela 7 - Quantidade de toneladas de SOC por hectare, em cada região de interesse na AMACRO em 2010 e em 2022.

	2010	2022
AMACRO Expandido	$38,64 \pm 10,86$ tSOC/ha	$38,65 \pm 11,07$ tSOC/ha
AMACRO	$37,05 \pm 9,92$ tSOC/ha	$37,04 \pm 10,07$ tSOC/ha
AMACRO sem UCs e sem TIs	$34,53 \pm 9,36$ tSOC/ha	$34,51 \pm 9,46$ tSOC/ha

TI s	45,92 ± 11,8 tSOC/ha	46,04 ± 12,15 tSOC/ha
UC s	38,24 ± 7,79 tSOC/ha	38,18 ± 7,98 tSOC/ha

Na avaliação das TIs, os territórios Jarawara/Jamamadi/Kanamati, Hi Merimã e Paumari do Rio Ituxi, se destacaram por possuírem as maiores médias de tSOC/ha para 2022 com, respectivamente, 68,17 ± 6,4 tSOC/ha, 65,63 ± 6,29 tSOC/ha e 62,29 ± 9,76 tSOC/ha.

As TIs com os menores valores médios de tSOC/ha para 2022 foram Karipuna, Karitiana e Kaxarari com, respectivamente, 28,4 ± 1,46 tSOC/ha, 29,52 ± 2,43 tSOC/ha e 31,21 ± 1,62 tSOC/ha.

Os resultados para 2010 e 2022 para as TIs, foram:

Tabela 8 - Quantidade de toneladas de SOC por hectare, em cada TI da AMACRO em 2010 e em 2022.

	2010	2022
Acimã	57,58 ± 5,04 tSOC/ha	58,26 ± 5,34 tSOC/ha
Alto Sepatini	51,03 ± 5,05 tSOC/ha	51,33 ± 5,44 tSOC/ha
Apurinã km 124 BR-317	34,75 ± 1,75 tSOC/ha	34,61 ± 1,74 tSOC/ha
Boca do Acre	36,52 ± 1,8 tSOC/ha	36,37 ± 1,82 tSOC/ha
Caititu	47,95 ± 7,74 tSOC/ha	48,08 ± 8,03 tSOC/ha
Camicua	39,66 ± 3,02 tSOC/ha	39,45 ± 3,14 tSOC/ha
Deni	50,55 ± 7,18 tSOC/ha	50,55 ± 7,42 tSOC/ha
Diahui	42,69 ± 6,22 tSOC/ha	42,78 ± 6,33 tSOC/ha
Hi Merimã	64,63 ± 6,05 tSOC/ha	65,63 ± 6,29 tSOC/ha
Igarapé Capana	36,81 ± 1,76 tSOC/ha	36,55 ± 1,78 tSOC/ha
Igarapé Lage	32,53 ± 2,01 tSOC/ha	32,63 ± 2,05 tSOC/ha
Igarapé Ribeirão	31,37 ± 1,69 tSOC/ha	31,43 ± 1,75 tSOC/ha
Inauini/Teuini	39,79 ± 3,33 tSOC/ha	39,5 ± 3,39 tSOC/ha
Ipixuna	49,1 ± 4,13 tSOC/ha	49,36 ± 4,29 tSOC/ha
Jacareúba/Katauixi	39,95 ± 4,01 tSOC/ha	38,8 ± 4,19 tSOC/ha
Jarawara/Jamamadi/Kanamati	67,2 ± 6,36 tSOC/ha	68,17 ± 6,4 tSOC/ha
Karipuna	28,57 ± 1,4 tSOC/ha	28,4 ± 1,46 tSOC/ha
Karitiana	29,72 ± 2,36 tSOC/ha	29,52 ± 2,43 tSOC/ha
Kaxarari	31,34 ± 1,65 tSOC/ha	31,21 ± 1,62 tSOC/ha
Nove de Janeiro	48,52 ± 3,82 tSOC/ha	48,94 ± 4,08 tSOC/ha
Paumari do Lago Marahã	59,13 ± 8,42 tSOC/ha	59,4 ± 8,5 tSOC/ha
Paumari do Rio Ituxi	61,67 ± 9,6 tSOC/ha	62,29 ± 9,76 tSOC/ha
Pirahã	51,01 ± 6,39 tSOC/ha	51,26 ± 6,52 tSOC/ha
São Pedro do Sepatini	48,68 ± 4,8 tSOC/ha	49,1 ± 4,96 tSOC/ha
Seruini Mariene	43,55 ± 5,01 tSOC/ha	43,47 ± 5,05 tSOC/ha
Tenharim Marmelos	40,2 ± 7,85 tSOC/ha	40,45 ± 8,08 tSOC/ha

Tenharim Marmelos Gleba B	53,39 ± 6,12 tSOC/ha	53,61 ± 6,2 tSOC/ha
Torá	54,3 ± 6,21 tSOC/ha	54,42 ± 6,25 tSOC/ha
Tumiã	49,34 ± 7,78 tSOC/ha	49,34 ± 7,92 tSOC/ha
Uru Eu Wau Wau	36,52 ± 7,66 tSOC/ha	36,37 ± 7,77 tSOC/ha

Na avaliação das UCs, os territórios Resex Médio Purus, Flona Humaitá e Parna Parna Pacáas Novos se destacaram por possuírem as maiores médias de tSOC/ha para 2022 com, respectivamente, 53,54 ± 8,2 tSOC/ha, 40,15 ± 6,07 tSOC/ha e 39,54 ± 8,78 tSOC/ha.

As UCs com os menores valores médios de tSOC/ha para 2022 foram Flona do Bom Futuro, Flona Jamari e Flona Jacundá com, respectivamente, 29,25 ± 3,51 tSOC/ha, 29,53 ± 3,39 tSOC/ha e 31,87 ± 2,97 tSOC/ha.

Os resultados para 2010 e 2022 para as UCs, foram:

Tabela 9 - Quantidade de toneladas de SOC por hectare, em cada UC Federal da AMACRO em 2010 e em 2022.

	2010	2022
Esec Cuniã	38,26 ± 4,81 tSOC/ha	38,15 ± 5,06 tSOC/ha
Flona Bom Futuro	29,44 ± 3,47 tSOC/ha	29,25 ± 3,51 tSOC/ha
Flona Humaitá	40,01 ± 5,87 tSOC/ha	40,15 ± 6,07 tSOC/ha
Flona Jacundá	32,18 ± 2,81 tSOC/ha	31,87 ± 2,97 tSOC/ha
Flona Iquiri	38,23 ± 7,26 tSOC/ha	38,2 ± 7,46 tSOC/ha
Flona Jamari	29,78 ± 3,32 tSOC/ha	29,53 ± 3,39 tSOC/ha
Flona Mapiá-Inauini	37,58 ± 2,64 tSOC/ha	37,36 ± 2,66 tSOC/ha
Parna Pacáas Novos	39,66 ± 8,62 tSOC/ha	39,54 ± 8,78 tSOC/ha
Parna Campos Amazônicos	37,35 ± 8,7 tSOC/ha	37,33 ± 8,96 tSOC/ha
Parna Mapinguari	37,86 ± 6,94 tSOC/ha	37,81 ± 7,11 tSOC/ha
Parna Serra da Cutia	38,56 ± 2,77 tSOC/ha	38,19 ± 2,94 tSOC/ha
Resex Arapixi	38,28 ± 2,91 tSOC/ha	38,02 ± 2,98 tSOC/ha
Parna Barreiro das Antas	38,98 ± 2,83 tSOC/ha	38,71 ± 2,96 tSOC/ha
Resex Rio Cautário	38,53 ± 3,41 tSOC/ha	38,21 ± 3,66 tSOC/ha
Resex Chico Mendes	34,44 ± 2,11 tSOC/ha	34,29 ± 2,13 tSOC/ha
Resex Ituxi	37,76 ± 5,89 tSOC/ha	37,69 ± 5,97 tSOC/ha
Resex Lago do Cuniã	36,26 ± 6,02 tSOC/ha	36,17 ± 6,37 tSOC/ha
Resex Médio Purus	53,19 ± 8,08 tSOC/ha	53,54 ± 8,2 tSOC/ha
Resex Rio Ouro Preto	32,78 ± 4,16 tSOC/ha	32,92 ± 4,32 tSOC/ha

Os resultados obtidos estão de acordo com o observado na literatura, com valores de referência variando entre 38 tSOC/ha e 55 tSOC/ha nos 30 primeiros centímetros do solo na região amazônica (Trumbore & Camargo, 2009).

4.2.2. Total de Carbono Orgânico no Solo

Observou-se que a AMACRO tinha um total de 960.183.050,29 tSOC em 2010 e 960.027.400,49 tSOC em 2021, apresentando uma perda de 155.649,80 tSOC no período.

A AMACRO Expandido tinha um total de 1.270.066.665,88 tSOC em 2010 e 1.270.425.645,10 tSOC em 2021, apresentando um acréscimo de 358.979,22 tSOC no período.

As UCs possuíam um total de 376.830.232,94 tSOC em 2010 e 376.228.929,90 tSOC em 2021, apresentando uma perda de 601.303,04 tSOC no período.

As TIs possuíam um total de 424.433.205,49 tSOC em 2010 e 425.491.258,73 tSOC em 2021, apresentando um acréscimo de 1.058.053,24 tSOC no período.

O território da AMACRO sem UCs e sem TIs possuía um total de 523.398.091,76 tSOC em 2010 e 523.129.332,65 tSOC em 2021, apresentando uma perda de 268.759,12 tSOC no período.

Os resultados para 2010 e 2021 para as regiões de interesse da AMACRO, foram:

Tabela 10 - Quantidade total de toneladas de SOC em cada região de interesse na AMACRO em 2010 e em 2021.

	Total de SOC em 2010 (toneladas)	Total de SOC em 2021 (toneladas)	Diferença de SOC entre 2010 e 2021 (toneladas)
AMACRO	960.183.050,29	960.027.400,49	-155.649,80
AMACRO Expandido	1.270.066.665,88	1.270.425.645,10	358.979,22
AMACRO sem UCs e sem TIs	523.398.091,76	523.129.332,65	-268.759,12
TIs	424.433.205,49	425.491.258,73	1.058.053,24
UCs	376.830.232,94	376.228.929,90	-601.303,04

Na avaliação das TIs, os territórios Deni, Uru Eu Wau Wau e Hi merimã, se destacaram por possuírem os maiores estoques de SOC em seus territórios em 2021 com, respectivamente, 78.300.591,08 tSOC, 69.702.310,10 tSOC e 45.041.910,10 tSOC.

As TIs com os menores estoques de SOC em seus territórios em 2021 foram Paumari do Rio Ituxi, Boca do Acre e Alto Sepatini com, respectivamente, 478.347,35 tSOC, 979.701,86 tSOC e 1.360.358,53 tSOC.

Os maiores acréscimos de SOC observados entre 2010 e 2021 foram nas TIs Hi Merimã, com acréscimo de 686.413,33 tSOC; Jarawara/Jamamadi/Kanamati, com acréscimo de 381.246,86 tSOC; e Tenharim Marmelos, com acréscimo de 123.573,73 tSOC.

As maiores perdas de SOC observadas entre 2010 e 2021 foram nas TIs Uru Eu Wau Wau, com perda de 302.238,14 tSOC; Inauini/Teuini, com perda de 133.907,55 tSOC; e Jacareúba/Katauixi, com perda de 89.989,90 tSOC.

Os resultados para 2010 e 2021 para as TIs, foram:

Tabela 11 - Quantidade total de toneladas de SOC em cada TI da AMACRO em 2010 e em 2021.

	Total de SOC em 2010 (toneladas)	Total de SOC em 2021 (toneladas)	Diferença de SOC entre 2010 e 2021 (toneladas)
Acimã	2.376.294,90	2.404.042,35	27.747,45
Alto Sepatini	1.352.411,86	1.360.358,53	7.946,67
Apurinã km 124 BR-317	1.501.848,33	1.496.042,35	-5.805,98
Boca do Acre	983.940,69	979.701,86	-4.238,82
Caititu	15.137.005,39	15.178.863,04	41.857,65
Camicua	2.354.821,96	2.342.127,75	-12.694,22
Deni	78.298.130,59	78.300.591,08	2.460,49
Diahui	2.055.604,61	2.059.993,92	4.389,31
Hi Merimã	44.355.496,76	45.041.910,10	686.413,33
Igarapé Capana	4.920.006,18	4.885.417,35	-34.588,82
Igarapé Lage	3.574.941,76	3.586.157,84	11.216,08
Igarapé Ribeirão	1.539.915,39	1.542.787,65	2.872,25
Inauini/Teuini	18.932.831,57	18.798.924,02	-133.907,55
Ipixuna	10.715.700,10	10.773.220,98	57.520,88
Jacareúba/Katauixi	24.112.449,31	24.022.459,41	-89.989,90
Jarawara/Jamamadi/Kanamati	26.514.992,84	26.896.239,71	381.246,86
Karipuna	4.475.296,76	4.448.730,10	-26.566,67
Karitiana	2.718.921,67	2.701.059,61	-17.862,06
Kaxarari	4.673.886,18	4.655.258,43	-18.627,75
Nove de Janeiro	11.299.017,94	11.396.208,33	97.190,39
Paumari do Lago Marahã	7.125.664,80	7.158.543,43	32.878,63
Paumari do Rio Ituxi	473.584,22	478.347,35	4.763,14
Pirahã	17.953.510,00	18.042.281,08	88.771,08

São Pedro do Sepatini	1.364.747,94	1.376.681,76	11.933,82
Seruini Mariene	6.416.668,73	6.405.437,16	-11.231,57
Tenharim Marmelos	20.372.395,88	20.495.969,61	123.573,73
Tenharim Marmelos Gleba B	25.734.156,86	25.839.061,18	104.904,31
Torá	3.027.485,00	3.034.410,10	6.925,10
Tumiã	6.226.873,43	6.227.452,35	578,92
Uru Eu Wau Wau	70.004.548,24	69.702.310,10	-302.238,14

Na avaliação das UCs, os territórios Parna Mapinguari, Flona Jacundá e Parna dos Campos Amazônicos se destacaram por possuírem os maiores estoques de SOC em seus territórios em 2021 com, respectivamente, 68.372.030,29 tSOC, 57.150.679,31 tSOC e 36.510.124,90 tSOC.

As UCs com os menores estoques de SOC em seus territórios em 2021 foram Resex Médio Purús, Flona do Bom Futuro e Resex Chico Mendes com, respectivamente, 2.811.817,06 tSOC, 2.935.339,12 tSOC e 2.950.273,92 tSOC.

Os únicos acréscimos de SOC observados entre 2010 e 2021 foram nas UCs Resex do Rio Cautário, com acréscimo de 209.907,06 tSOC; Flona Humaitá, com acréscimo de 68.929,12 tSOC; e Resex Rio Ouro Preto, com acréscimo de 29.401,86 tSOC.

As maiores perdas de SOC observadas entre 2010 e 2021 foram nas UCs Resex Ituxi, com perda de 145.596,37 tSOC; Parna Pacáas Novos, com perda de 107.024,02 tSOC; e Parna Mapinguari, com perda de 91.724,80 tSOC.

Os resultados para 2010 e 2021 para as UCs, foram:

Tabela 12 - Quantidade total de toneladas de SOC em cada UC Federal da AMACRO em 2010 e em 2021.

	Total de SOC em 2010 (toneladas)	Total de SOC em 2021 (toneladas)	Diferença de SOC entre 2010 e 2021 (toneladas)
Esec Cuniã	7.103.614,02	7.082.318,53	-21.295,49
Flona do Bom Futuro	2.954.950,98	2.935.339,12	-19.611,86
Flona Humaitá	19.384.186,37	19.453.115,49	68.929,12
Flona Iquiri	7.227.365,69	7.157.717,65	-69.648,04
Flona Jacundá	57.212.754,51	57.150.679,31	-62.075,20
Flona Jamari	6.741.279,71	6.685.605,98	-55.673,73
Flona Mapiá-Inauini	14.102.408,43	14.021.748,33	-80.660,10

Parna Barreiro das Antas	28.716.632,94	28.632.433,92	-84.199,02
Parna Campos Amazônicos	36.526.915,88	36.510.124,90	-16.790,98
Parna Mapinguari	68.463.755,10	68.372.030,29	-91.724,80
Parna Pacáas Novos	11.229.878,33	11.122.854,31	-107.024,02
Parna Serra da Cutia	5.213.225,98	5.178.864,31	-34.361,67
Resex Arapixi	4.250.256,27	4.220.854,02	-29.402,25
Resex Chico Mendes	2.975.926,37	2.950.273,92	-25.652,45
Resex Ituxi	32.833.106,47	32.687.510,10	-145.596,37
Resex Lago do Cuniã	29.865.395,10	29.806.800,10	-58.595,00
Resex Médio Purús	2.819.338,33	2.811.817,06	-7.521,27
Resex Rio Cautário	32.434.447,94	32.644.355,00	209.907,06
Resex Rio Ouro Preto	6.871.103,63	6.900.505,49	29.401,86

4.3. CARBONO EQUIVALENTE

Em termos de CO₂e, foram realizadas duas avaliações para os anos de 2010 e 2022: quanto cada área de interesse tem em média de tCO₂e/ha, a partir da média dos pixels no território; além de quanto cada área possui de tCO₂e dentro do seu território, a partir do somatório dos valores dos pixels dentro de cada área. Os valores de CO₂e correspondem à soma do carbono presente na AGB e nos demais componentes florestais, calculados a partir da AGB, com o carbono presente no solo, ambos convertidos em dióxido de carbono equivalente.

4.3.1. Média de Dióxido de Carbono Equivalente

Observou-se que a AMACRO tinha em média 645,93 ± 194,69 tCO₂e/ha em 2010, e 607,48 ± 239,47 tCO₂e/ha em 2022. A AMACRO Expandido tinha em média 672,78 ± 198,2 tCO₂e/ha em 2010, e 641,63 ± 238,64 tCO₂e/ha em 2022. As UCs possuíam uma média de 728,05 ± 137,73 tCO₂e/ha em 2010, e 723,87 ± 147,32 tCO₂e/ha em 2022. As TIs possuíam uma média de 779,4 ± 159 tCO₂e/ha em 2010, e 778,37 ± 163,58 tCO₂e/ha em 2022. O território da AMACRO sem UCs e sem TIs possuía uma média de 571,06 ± 198,88 tCO₂e/ha em 2010, e 506,65 ± 246,9 tCO₂e/ha em 2022.

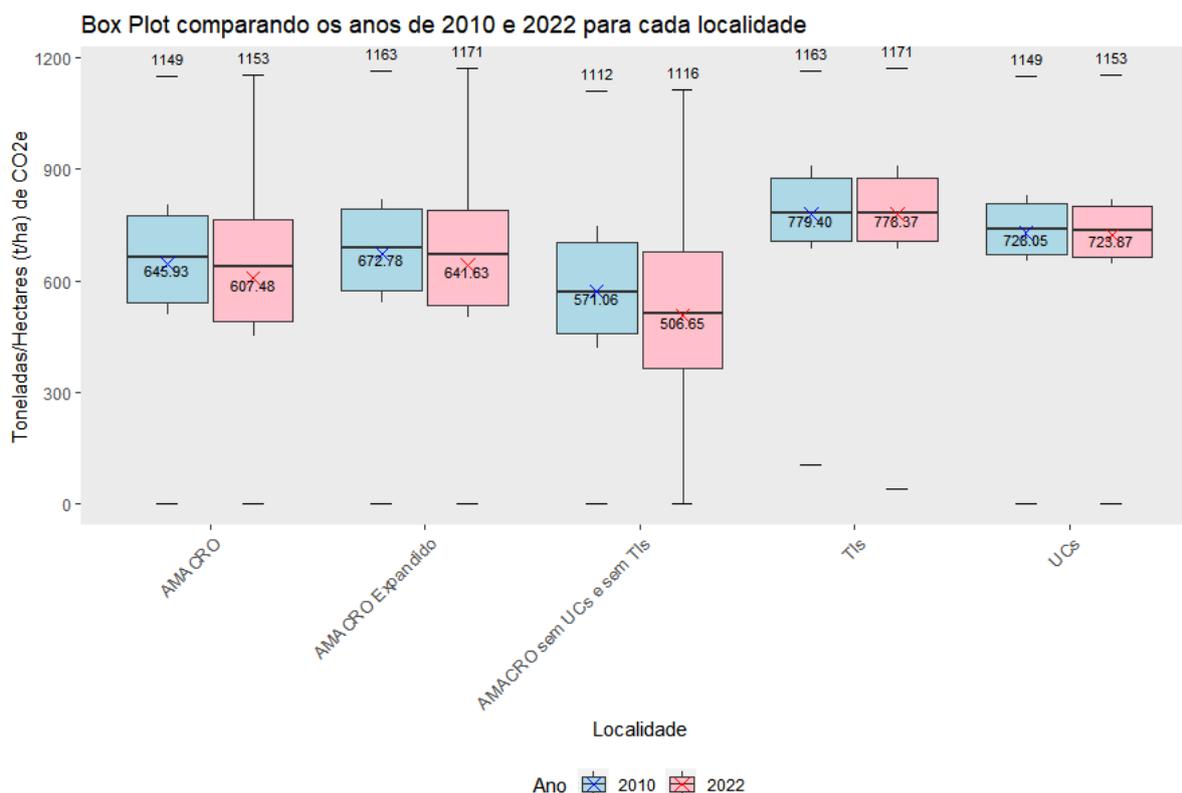


Figura 3 - Quantidade média de toneladas de CO₂e por hectare, em cada região de interesse na AMACRO em 2010 e em 2022.

Os resultados para as cinco regiões de interesse foram:

Tabela 13 - Quantidade média de toneladas de CO₂e por hectare, em cada região de interesse na AMACRO em 2010 e em 2022.

	2010	2022
AMACRO Expandido	672,78 ± 198,2 tCO ₂ e/ha	641,63 ± 238,64 tCO ₂ e/ha
AMACRO	645,93 ± 194,69 tCO ₂ e/ha	607,48 ± 239,47 tCO ₂ e/ha
AMACRO sem UCs e sem TIs	571,06 ± 198,88 tAGB/ha	506,65 ± 246,9 tAGB/ha
TIs	779,4 ± 159 tCO ₂ e/ha	778,37 ± 163,58 tCO ₂ e/ha
UCs	728,05 ± 137,73 tCO ₂ e/ha	723,87 ± 147,32 tCO ₂ e/ha

Na avaliação das TIs, os territórios Hi Merimã, Jarawara/Jamadi/Kanamati e Acimã se destacaram por possuírem as maiores médias de tCO₂e/ha para 2022 com, respectivamente, 951,51 ± 52,02 tCO₂e/ha, 948,15 ± 66,04 tCO₂e/ha e 940,66 ± 50,28 tCO₂e/ha.

As TIs com os menores valores médios de tCO₂e/ha para 2022 foram Tenharim Marmelos, Karitiana e Jacareúba/Katauixi com, respectivamente, 531,14 ± 216,23 tCO₂e/ha, 648,75 ± 85,2 tCO₂e/ha e 649,1 ± 88,06 tCO₂e/ha.

Os resultados para 2010 e 2022 para as TIs, foram:

Tabela 14 - Quantidade média de toneladas de CO₂e por hectare, em cada TI da AMACRO em 2010 e em 2022.

	2010	2022
Acimã	938,19 ± 50,27 tCO ₂ e/ha	940,66 ± 50,28 tCO ₂ e/ha
Alto Sepatini	901,35 ± 41,36 tCO ₂ e/ha	902,45 ± 42,04 tCO ₂ e/ha
Apurinã km 124 BR-317	718,82 ± 121,37 tCO ₂ e/ha	710,4 ± 147,26 tCO ₂ e/ha
Boca do Acre	749,89 ± 120,85 tCO ₂ e/ha	740,75 ± 144,76 tCO ₂ e/ha
Caititu	735,17 ± 94,42 tCO ₂ e/ha	735,12 ± 96,32 tCO ₂ e/ha
Camicua	859,9 ± 82,16 tCO ₂ e/ha	858,55 ± 86,75 tCO ₂ e/ha
Deni	939,73 ± 50,74 tCO ₂ e/ha	939,62 ± 52,1 tCO ₂ e/ha
Diahui	703,69 ± 88,78 tCO ₂ e/ha	703,81 ± 89,66 tCO ₂ e/ha
Hi Merimã	947,84 ± 51,67 tCO ₂ e/ha	951,51 ± 52,02 tCO ₂ e/ha
Igarapé Capana	812,87 ± 48,63 tCO ₂ e/ha	811,92 ± 49,41 tCO ₂ e/ha
Igarapé Lage	674,68 ± 94,1 tCO ₂ e/ha	670,39 ± 112,49 tCO ₂ e/ha
Igarapé Ribeirão	675,58 ± 94,45 tCO ₂ e/ha	671,42 ± 118,29 tCO ₂ e/ha
Inauini/Teuini	871,08 ± 49,39 tCO ₂ e/ha	870,05 ± 49,39 tCO ₂ e/ha
Ipixuna	737,37 ± 71,73 tCO ₂ e/ha	737,52 ± 75,72 tCO ₂ e/ha
Jacareúba/Katauixi	649,72 ± 87,92 tCO ₂ e/ha	649,1 ± 88,06 tCO ₂ e/ha
Jarawara/Jamamadi/Kanamati	944,64 ± 65,13 tCO ₂ e/ha	948,15 ± 66,04 tCO ₂ e/ha
Karipuna	712,12 ± 66,06 tCO ₂ e/ha	689,61 ± 140,12 tCO ₂ e/ha
Karitiana	652,08 ± 75,58 tCO ₂ e/ha	648,75 ± 85,2 tCO ₂ e/ha
Kaxarari	783,94 ± 57,37 tCO ₂ e/ha	780,24 ± 88,05 tCO ₂ e/ha
Nove de Janeiro	710 ± 93,66 tCO ₂ e/ha	711,4 ± 94,64 tCO ₂ e/ha
Paumari do Lago Marahã	825,88 ± 96,63 tCO ₂ e/ha	825,01 ± 102,33 tCO ₂ e/ha
Paumari do Rio Ituxi	740,61 ± 111 tCO ₂ e/ha	741,23 ± 114,8 tCO ₂ e/ha
Pirahã	741,17 ± 81,93 tCO ₂ e/ha	740,44 ± 87,99 tCO ₂ e/ha
São Pedro do Sepatini	878,53 ± 58,38 tCO ₂ e/ha	880,09 ± 58,25 tCO ₂ e/ha
Seruini Mariene	847,98 ± 72,11 tCO ₂ e/ha	847,47 ± 73,21 tCO ₂ e/ha
Tenharim Marmelos	530,59 ± 216,91 tCO ₂ e/ha	531,14 ± 216,23 tCO ₂ e/ha
Tenharim Marmelos Gleba B	741,57 ± 95,84 tCO ₂ e/ha	740,53 ± 102,25 tCO ₂ e/ha
Torá	791,85 ± 107,82 tCO ₂ e/ha	791,66 ± 109,84 tCO ₂ e/ha
Tumiã	894,22 ± 46,01 tCO ₂ e/ha	894,23 ± 46,32 tCO ₂ e/ha
Uru Eu Wau Wau	670,51 ± 108,18 tCO ₂ e/ha	667,12 ± 116,77 tCO ₂ e/ha

Na avaliação das UCs, os territórios Resex do Médio Purús, Flona Mapiá-Inauini e Flona do Iquiri se destacaram por possuírem as maiores médias de tCO₂e/ha para 2022 com, respectivamente, 863,39 ± 143,2 tCO₂e/ha, 850,88 ± 53,7 tCO₂e/ha e 846,24 ± 76,58 tCO₂e/ha.

As UCs com os menores valores médios de tCO₂e/ha para 2022 foram Flona do Bom Futuro, Esec Cuniã e Parna dos Campos Amazônicos com, respectivamente, 562,22 ± 153,94 tCO₂e/ha, 632,5 ± 100,78 tCO₂e/ha e 643 ± 185,92 tCO₂e/ha.

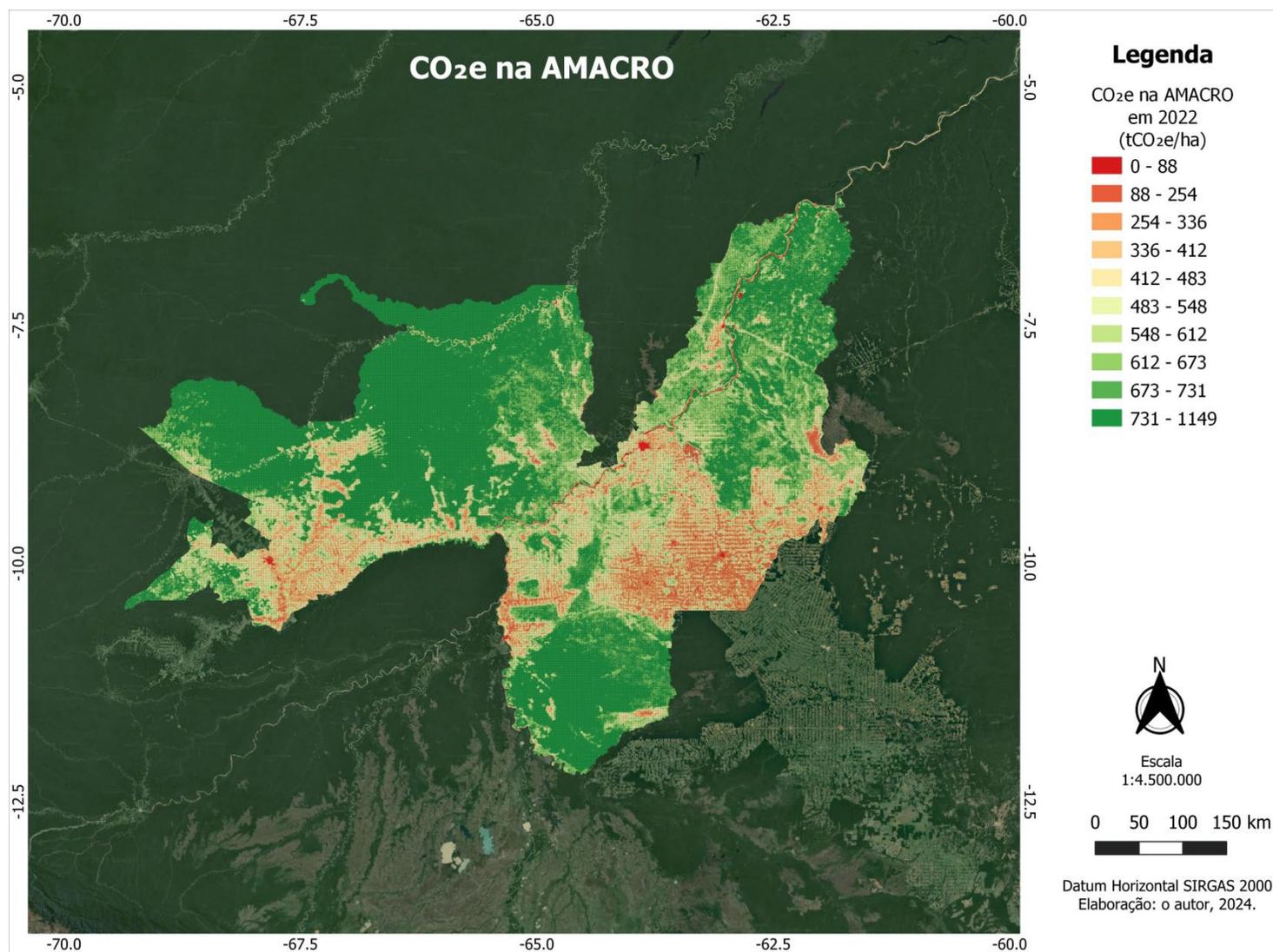
Os resultados para 2010 e 2022 para as UCs, foram:

Tabela 15 - Quantidade média de toneladas de CO₂e por hectare, em cada UC da AMACRO em 2010 em 2022.

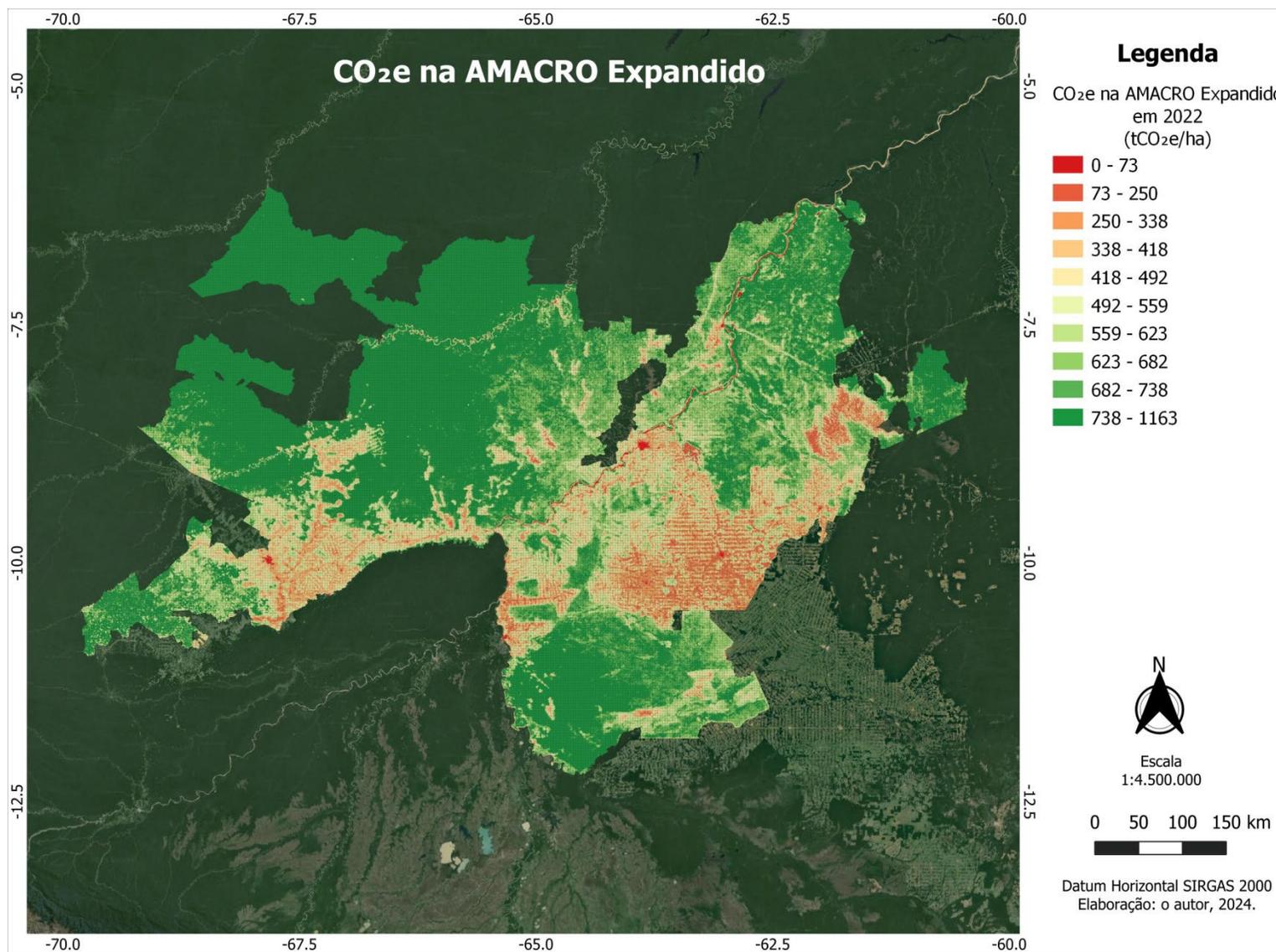
	2010	2022
Esec Cuniã	633,36 ± 99,6 tCO ₂ e/ha	632,5 ± 100,78 tCO ₂ e/ha
Flona do Bom Futuro	593,42 ± 85,05 tCO ₂ e/ha	562,22 ± 153,94 tCO ₂ e/ha
Flona Humaitá	682,09 ± 89,34 tCO ₂ e/ha	682,61 ± 89,48 tCO ₂ e/ha
Flona Jacundá	661,79 ± 72,85 tCO ₂ e/ha	659,65 ± 80,62 tCO ₂ e/ha
Flona Iquiri	846,91 ± 72,43 tCO ₂ e/ha	846,24 ± 76,58 tCO ₂ e/ha
Flona Jamari	698,7 ± 94,82 tCO ₂ e/ha	697,66 ± 95,56 tCO ₂ e/ha
Flona Mapiá-Inauini	851,81 ± 52,83 tCO ₂ e/ha	850,88 ± 53,7 tCO ₂ e/ha
Parna Pacáas Novos	815,95 ± 110,39 tCO ₂ e/ha	814,96 ± 109,86 tCO ₂ e/ha
Parna Campos Amazônicos	644,44 ± 184,38 tCO ₂ e/ha	643 ± 185,92 tCO ₂ e/ha
Parna Mapinguari	657,46 ± 112,11 tCO ₂ e/ha	656,3 ± 114,89 tCO ₂ e/ha
Parna Serra da Cutia	675,09 ± 114,73 tCO ₂ e/ha	671,95 ± 121,74 tCO ₂ e/ha
Resex Arapixi	765,22 ± 100,81 tCO ₂ e/ha	763,38 ± 102,29 tCO ₂ e/ha
Parna Barreiro das Antas	741,82 ± 94,84 tCO ₂ e/ha	740,01 ± 97,2 tCO ₂ e/ha
Resex Rio Cautário	703,54 ± 103,91 tCO ₂ e/ha	674,89 ± 163,12 tCO ₂ e/ha
Resex Chico Mendes	752,13 ± 80,02 tCO ₂ e/ha	751,58 ± 81,31 tCO ₂ e/ha
Resex Ituxi	647,7 ± 74,83 tCO ₂ e/ha	646,52 ± 77,64 tCO ₂ e/ha
Resex Lago do Cuniã	863,1 ± 141,1 tCO ₂ e/ha	863,39 ± 143,2 tCO ₂ e/ha
Resex Médio Purús	741,82 ± 94,84 tCO ₂ e/ha	740,01 ± 97,2 tCO ₂ e/ha
Resex Rio Ouro Preto	700,85 ± 130,74 tCO ₂ e/ha	695,46 ± 145,88 tCO ₂ e/ha

Os Mapas 4, 5, 6, 7 e 8 são as imagens resultantes para tCO₂e/ha em 2022 para cada área de interesse, a partir das interações na base de dados de Baccini et al. (2012). As regiões vermelhas representam áreas com menor estoque de carbono, e as regiões verdes representam áreas com maior estoque de carbono.

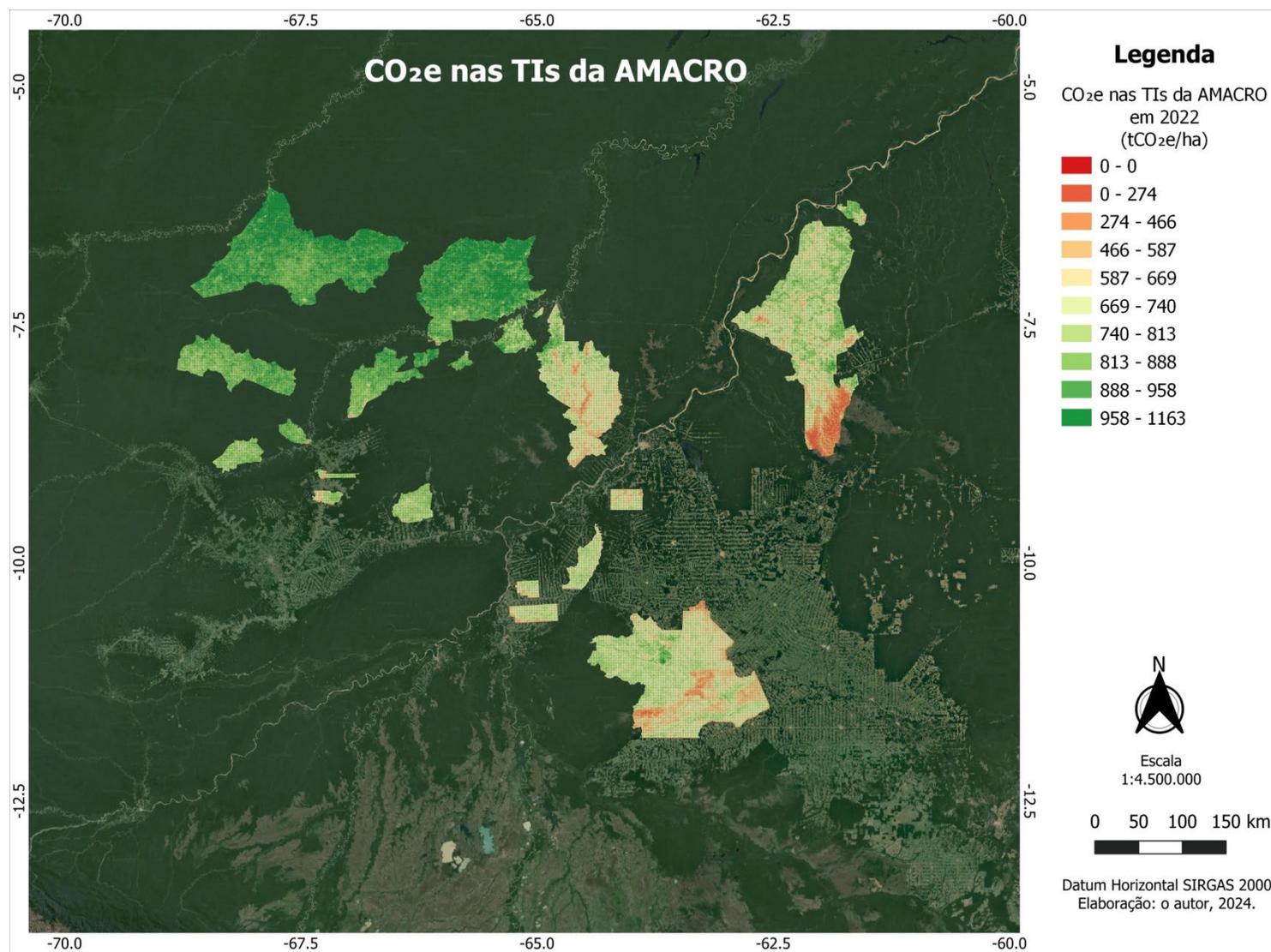
Mapa 4 - Total de tCO₂e/ha na AMACRO em 2022.



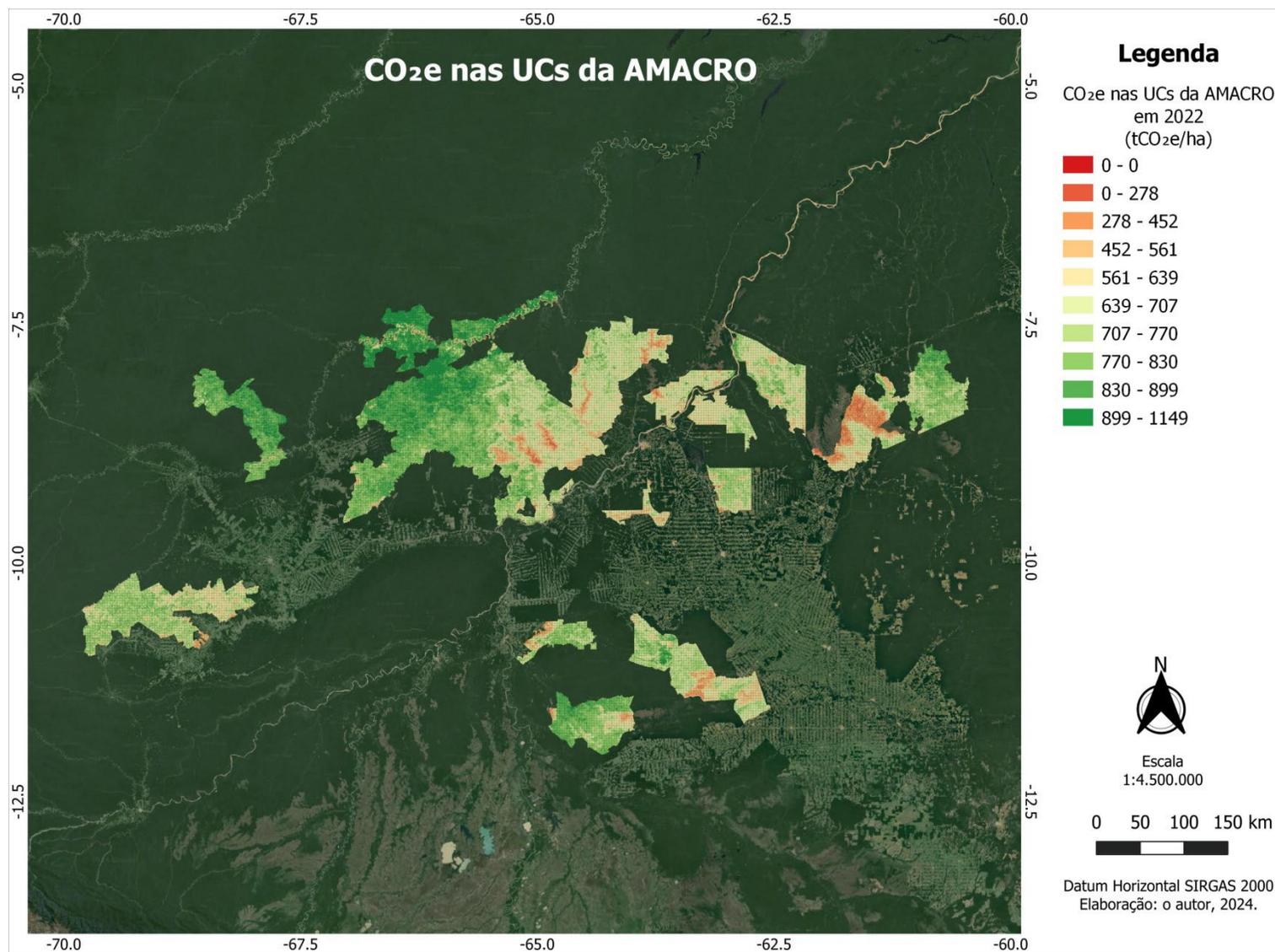
Mapa 5 - Total de tCO₂e/ha na AMACRO Expandido em 2022.



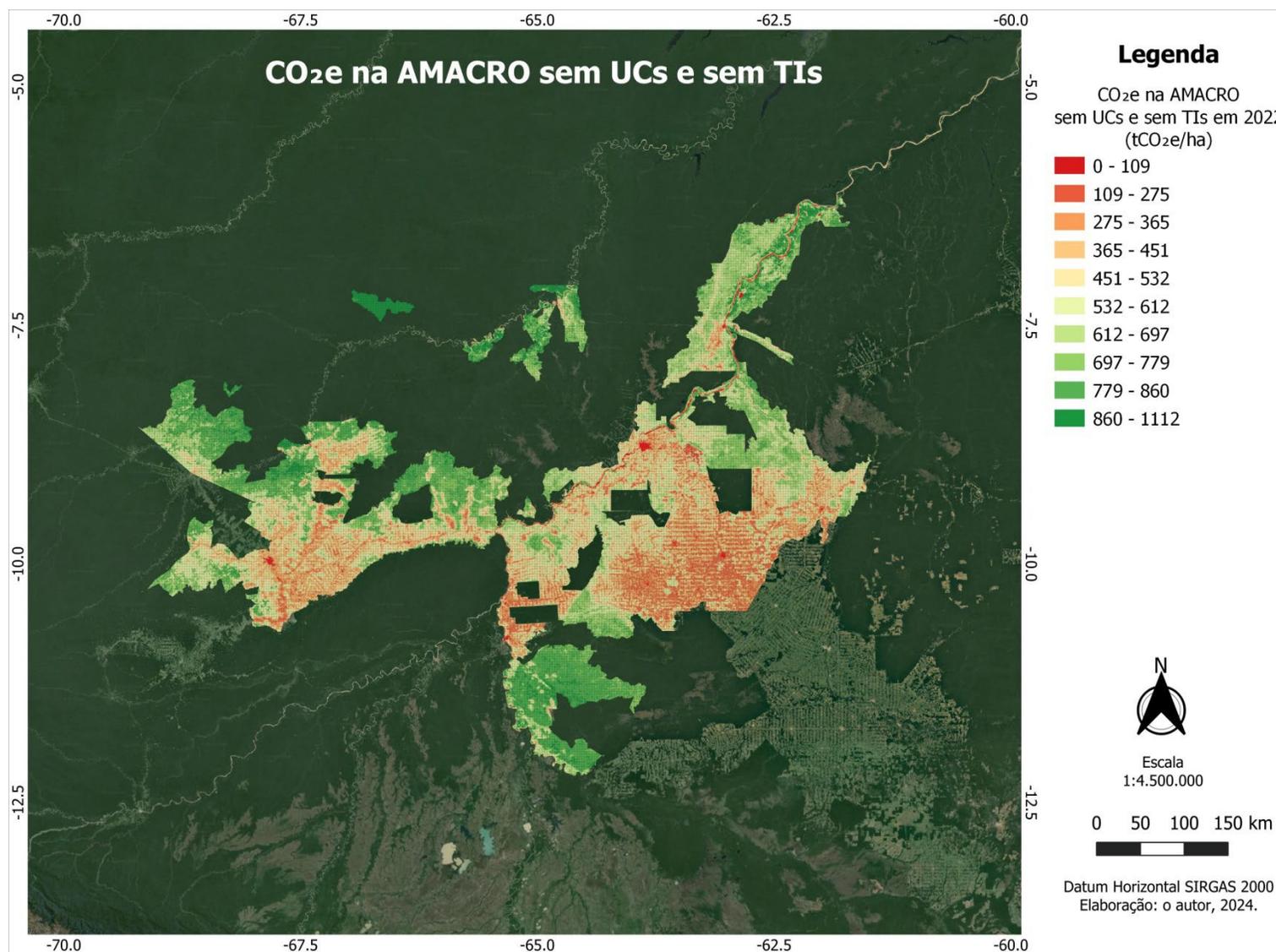
Mapa 6 - Total de tCO₂e/ha nas TIs da AMACRO em 2022.



Mapa 7 - Total de tCO₂e/ha nas UCs da AMACRO em 2022.



Mapa 8 - Total de tCO₂e/ha na AMACRO sem UCs e sem TIs em 2022.



4.3.2. Total de Dióxido de Carbono Equivalente

Observou-se que a AMACRO tinha um total de 16.735.106.688,19 tCO₂e em 2010 e 15.738.941.704,89 tCO₂e em 2022, apresentando uma diferença de 996.164.983,30 tCO₂e no período.

A AMACRO Expandido tinha um total de 22.107.818.947,30 tCO₂e em 2010 e 21.084.194.549,45 tCO₂e em 2022, apresentando uma diferença de 1.023.624.397,85 tCO₂e no período.

As UCs possuíam um total de 7.175.152.602,96 tCO₂e em 2010 e 7.133.980.870,70 tCO₂e em 2022, apresentando uma diferença de 41.171.732,27 tCO₂e no período.

As TIs possuíam um total de 7.203.741.481,02 tCO₂e em 2010 e 7.194.176.261,96 tCO₂e em 2022, apresentando uma diferença de 9.565.219,06 tCO₂e no período.

O território da AMACRO sem UCs e sem TIs possuía um total de 8.649.926.739,14 tCO₂e em 2010 e 7.674.408.174,19 tCO₂e em 2022, apresentando uma diferença de 975.518.564,95 tCO₂e no período.

Os resultados para as cinco regiões de interesse foram:

Tabela 16 - Quantidade de toneladas de CO₂e em cada região de interesse na AMACRO em 2010 e em 2022.

	Total de CO₂e em 2010 (toneladas)	Total de CO₂e em 2022 (toneladas)	Diferença de CO₂e entre 2010 e 2022 (toneladas)
AMACRO	16.735.106.688,19	15.738.941.704,89	-996.164.983,30
AMACRO Expandido	22.107.818.947,30	21.084.194.549,45	-1.023.624.397,85
AMACRO sem UCs e sem TIs	8.649.926.739,14	7.674.408.174,19	-975.518.564,95
TIs	7.203.741.481,02	7.194.176.261,96	-9.565.219,06
UCs	7.175.152.602,96	7.133.980.870,70	-41.171.732,27

Na avaliação das TIs, os territórios Deni, Uru Eu Wau Wau e Hi merimã, se destacaram por possuírem os maiores estoques de CO₂e em seus territórios em 2022 com, respectivamente, 1.455.485.670,79 tCO₂e, 1.278.568.982,74 tCO₂e e 652.996.495,80 tCO₂e.

As TIs com os menores estoques de CO₂e em seus territórios em 2022 foram Paumari do Rio Ituxi, Boca do Acre e Alto Sepatini com, respectivamente, 5.692.174,70 tCO₂e, 19.956.353,47 tCO₂e e 23.915.637,09 tCO₂e.

As TIs Hi Merimã, Jarawara/Jamadi/Kanamati, Nove de Janeiro, Tenharim Marmelos, Acimã, São Pedro do Sepatini, Diahui, Paumari do Rio Ituxi e Tumiã se destacam por serem as TIs que apresentaram ganhos de CO₂e no período entre 2010 e 2022 de, respectivamente, de 2.519.136,93 tCO₂e, 1.383.645,17 tCO₂e, 325.270,59 tCO₂e, 280.307,66 tCO₂e, 101.833,15 tCO₂e, 43.797,13 tCO₂e, 4.697,98 tCO₂e e 2.124,64 tCO₂e.

As maiores perdas de CO₂e observadas entre 2010 e 2022 foram nas TIs Uru Eu Wau Wau, com perda de 6.493.158,21 tCO₂e; Karipuna, com perda de 3.525.690,31 tCO₂e; e Kaxari, com perda de 553.054,67 tCO₂e.

Os resultados para 2010 e 2022 para as TIs, foram:

Tabela 17 - Quantidade de toneladas de CO₂e em cada TI da AMACRO em 2010 e em 2022.

	Total de CO₂e em 2010 (toneladas)	Total de CO₂e em 2022 (toneladas)	Diferença de CO₂e entre 2010 e 2022 (toneladas)
Acimã	38.714.230,02	38.816.063,17	101.833,15
Alto Sepatini	23.886.472,82	23.915.637,09	29.164,27
Apurinã km 124 BR-317	31.070.076,96	30.706.180,89	-363.896,07
Boca do Acre	20.202.520,53	19.956.353,47	-246.167,05
Caititu	232.102.812,35	232.087.336,61	-15.475,74
Camicua	51.053.922,45	50.973.594,79	-80.327,66
Deni	1.455.646.330,30	1.455.485.670,79	-160.659,52
Diahui	33.883.903,82	33.889.518,48	5.614,66
Hi Merimã	650.477.358,86	652.996.495,80	2.519.136,93
Igarapé Capana	108.659.544,33	108.532.468,73	-127.075,61
Igarapé Lage	74.155.860,77	73.684.180,50	-471.680,27
Igarapé Ribeirão	33.164.584,90	32.960.315,35	-204.269,55
Inauini/Teuini	414.515.745,18	414.024.304,47	-491.440,70
Ipixuna	160.934.334,37	160.967.035,98	32.701,61
Jacareúba/Katauixi	402.244.675,62	401.859.142,12	-385.533,50

Jarawara/Jamamadi/Kanamati	372.718.056,28	374.101.701,45	1.383.645,17
Karipuna	111.533.948,90	108.008.258,60	-3.525.690,31
Karitiana	59.660.267,28	59.356.050,02	-304.217,26
Kaxarari	116.914.880,18	116.361.825,51	-553.054,67
Nove de Janeiro	165.334.450,98	165.659.721,57	325.270,59
Paumari do Lago Marahã	99.524.326,18	99.420.117,77	-104.208,42
Paumari do Rio Ituxi	5.687.476,72	5.692.174,70	4.697,98
Pirahã	260.848.727,12	260.592.316,63	-256.410,49
São Pedro do Sepatini	24.630.196,42	24.673.993,56	43.797,13
Seruini Mariene	124.942.342,66	124.866.067,97	-76.274,68
Tenharim Marmelos	268.873.900,28	269.154.207,93	280.307,66
Tenharim Marmelos Gleba B	357.413.717,71	356.914.789,25	-498.928,46
Torá	44.149.469,46	44.138.769,17	-10.700,29
Tumiã	112.856.962,86	112.859.087,51	2.124,64
Uru Eu Wau Wau	1.285.062.140,95	1.278.568.982,74	-6.493.158,21

Na avaliação das UCs, os territórios Flona do Iquiri, Parna Mapinguari e Resex Chico Mendes, se destacaram por possuírem os maiores estoques de CO₂e em seus territórios em 2022 com, respectivamente, 1.266.166.506,19 tCO₂e, 1.186.720.187,72 tCO₂e e 643.374.841,53 tCO₂e.

As UCs com os menores estoques de CO₂e em seus territórios em 2022 foram Resex Lago do Cuniã, Flona do Bom Futuro e Resex Rio Cautário com, respectivamente, 50.257.916,79 tCO₂e, 56.415.088,26 tCO₂e e 57.144.497,50 tCO₂e.

As UCs Flona Humaitá Novos e Resex Médio Purús se destacam por serem as únicas UCs que apresentaram ganhos de CO₂e no período entre 2010 e 2022 de, respectivamente, de 252.969,86 tCO₂e e 179.140,20 tCO₂e.

As maiores perdas de CO₂e observadas entre 2010 e 2022 foram nas UCs Resex Chico Mendes, com perda de 27.310.178,21 tCO₂e; Flona do Bom Futuro, com perda de 3.130.943,48 tCO₂e; e Parna Pacáas Novos, com perda de 2.270.879,89 tCO₂e.

Os resultados para 2010 e 2022 para as UCs, foram:

Tabela 18 - Quantidade de toneladas de CO₂e em cada UC Federal da AMACRO em 2010 e em 2022.

	Total de CO₂e em 2010 (toneladas)	Total de CO₂e em 2022 (toneladas)	Diferença de CO₂e entre 2010 e 2022 (toneladas)
Esec Cuniã	117.589.298,90	117.430.889,54	-158.409,36
Flona do Bom Futuro	59.546.031,74	56.415.088,26	-3.130.943,48
Flona Humaitá	330.445.883,66	330.698.853,52	252.969,86
Flona Iquiri	1.267.156.853,68	1.266.166.506,19	-990.347,49
Flona Jacundá	148.650.760,81	148.170.384,84	-480.375,97
Flona Jamari	158.179.010,73	157.943.489,78	-235.520,94
Flona Mapiá-Inauini	319.655.097,25	319.306.604,09	-348.493,16
Parna Barreiro das Antas	88.978.416,45	88.870.510,17	-107.906,28
Parna Campos Amazônicos	630.212.026,73	628.808.275,35	-1.403.751,38
Parna Mapinguari	1.188.805.428,00	1.186.720.187,72	-2.085.240,28
Parna Pacáas Novos	488.859.762,68	486.588.882,79	-2.270.879,89
Parna Serra da Cutia	222.868.973,76	222.333.464,42	-535.509,34
Resex Arapixi	109.886.227,11	109.139.277,27	-746.949,84
Resex Chico Mendes	670.685.019,74	643.374.841,53	-27.310.178,21
Resex Ituxi	594.783.473,86	594.344.743,05	-438.730,82
Resex Lago do Cuniã	50.348.960,09	50.257.916,79	-91.043,30
Resex Médio Purús	526.267.783,09	526.446.923,29	179.140,20
Resex Rio Cautário	57.284.481,64	57.144.497,50	-139.984,14
Resex Rio Ouro Preto	146.891.154,35	145.760.622,63	-1.130.531,72

4.4. 2010 A 2022: PRINCIPAIS MUDANÇAS

A partir da análise de dados extraídos dos *dashboards* do Mapbiomas, com recortes para cada área de interesse na ferramenta *Google Earth Engine*, foi possível obter informações da série histórica de 2010 a 2022 para o uso e cobertura do solo, e de 2010 a 2021 para o

desmatamento nas classes de vegetação primária e vegetação secundária, na AMACRO e suas APs.

4.4.1. Uso do Solo pelo Dashboard do MapBiomias

A compreensão da dinâmica de uso e cobertura do solo associada ao de desenvolvimento e ocupação do território da AMACRO auxilia na reflexão sobre as possíveis causas que levaram a AMACRO a se destacar como uma área de forte pressão antrópica e desmatamento no RAD 2022 (Mapbiomas, 2023), com uma redução de 73,6% no desmatamento observado em 2023 (390.187 ha em 2022 e 102.956 ha em 2023) conforme o RAD 2023 (MapBiomias, 2024). Em termos gerais, verificamos que as áreas de florestas diminuíram e as de agropecuária, principalmente a pastagem, aumentaram no intervalo entre 2010 e 2022, com as APs observando essas mudanças de maneira menos acentuada.

A atividade agropecuária no território contendo a AMACRO e suas APs destaca-se como aquela que mais expandiu na região entre 2010 e 2022, passando de 4.590.847,97 ha, em 2010, para 6.715.092,27 ha, em 2022. O crescimento foi de 46,27% no período, ou seja: a área ocupada em 2022 é aproximadamente 50% maior do que no ano 2010. As áreas de florestas na região diminuíram de 26.862.783,87 ha em 2010 para 24.695.272,89 ha em 2022, representando uma diminuição de 8,06% na classe florestal.

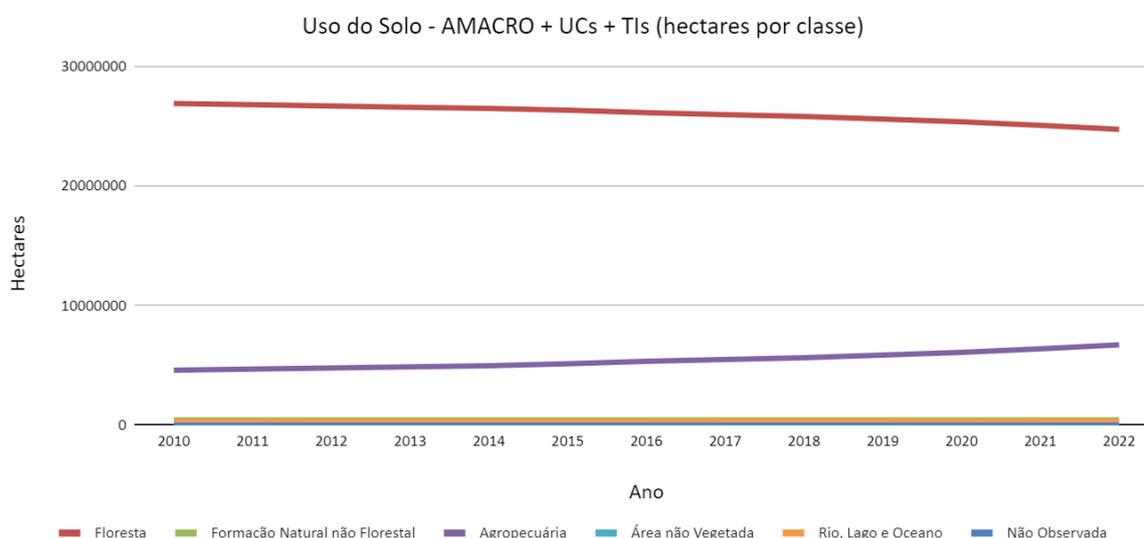


Figura 4 - Uso e cobertura do solo por classe na AMACRO e suas APs, entre 2010 e 2022. Fonte: MapBiomias, 2023.

Desconsiderando as APs, o território da AMACRO expandiu a classe de uso do solo para agropecuária, de 3.940.876,79 ha em 2010 para 5.941.224,83 ha em 2022, representando um

aumento de 50,76% no período. As áreas de florestas no território diminuíram de 10.428.224,95 ha em 2010 para 8.383.941,30 ha em 2022, representando uma diminuição de 19,60% na classe florestal, sendo a maior taxa de desmatamento dos territórios analisados e servirá como base para estimativas em projetos REDD+ no presente estudo.

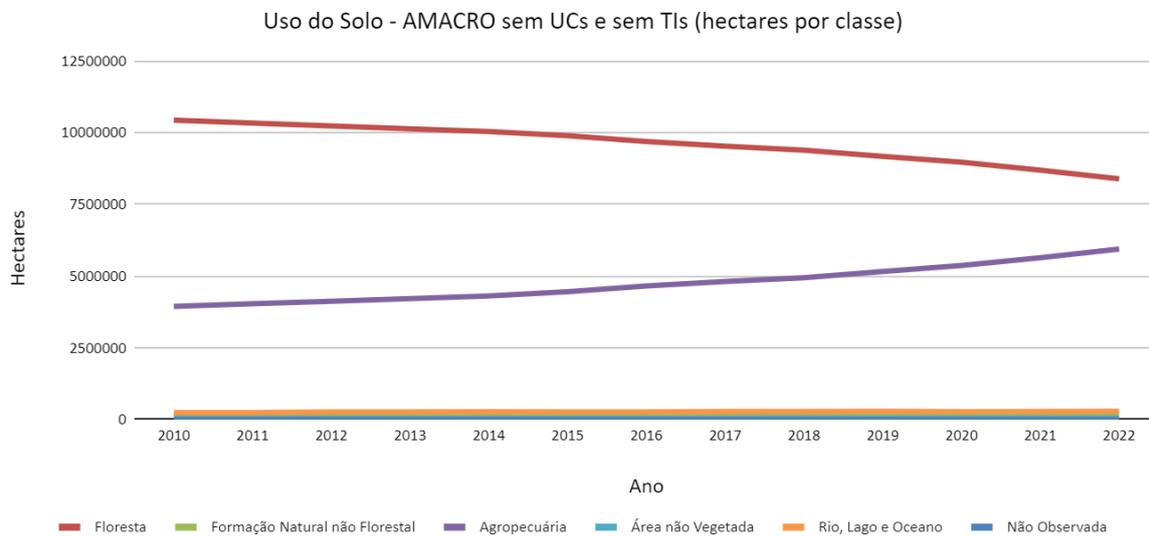


Figura 5 - Uso e cobertura do solo por classe na AMACRO, desconsiderando os territórios de suas APs, entre 2010 e 2022. Fonte: MapBiomias, 2023.

As UCs passaram de 414.558,42 ha em 2010 de uso do solo em agropecuária para 508.148,06 ha em 2022, representando um aumento de 22,58%, principalmente por conta do aumento de áreas classificadas como pastagem. Em áreas florestais, a diminuição foi de 1,06%: de 9.092.338,68 ha em 2010 para 8.995.715,98 em 2022.

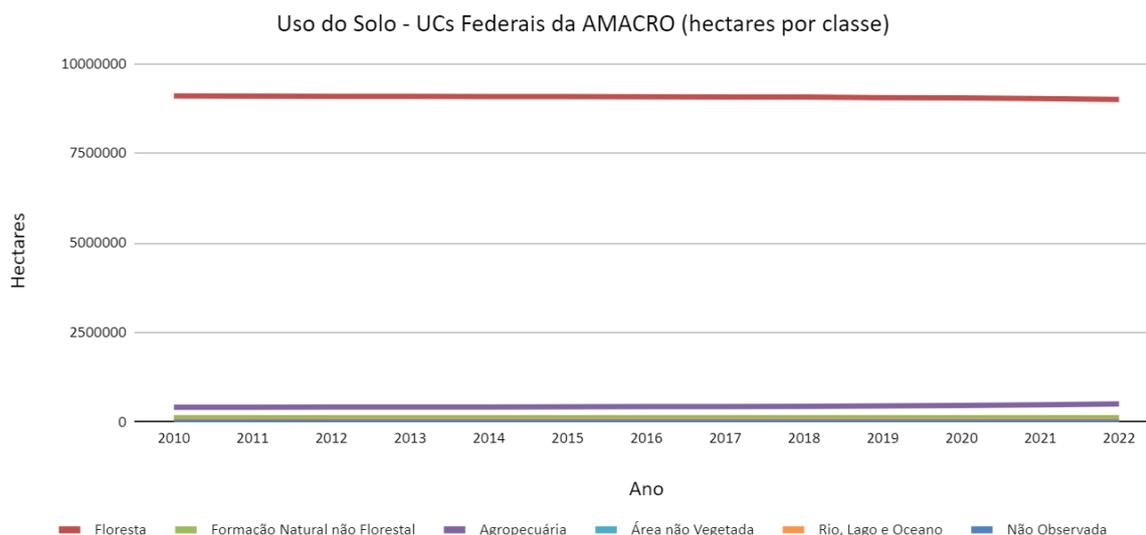


Figura 6 - Uso e cobertura do solo por classe nas UCs Federais da AMACRO, entre 2010 e 2022. Fonte: MapBiomias, 2023.

Em termos da TIs, as áreas desses territórios passaram de 313.257,51 ha em 2010 de uso do solo em agropecuária para 349.831,99 ha em 2022, representando um aumento de 11,68%, principalmente por conta do aumento de áreas classificadas como pastagem. Em áreas florestais, a diminuição foi de 0,38%: de 8.589.138,80 ha em 2010 para 8.556.222,64 em 2022.

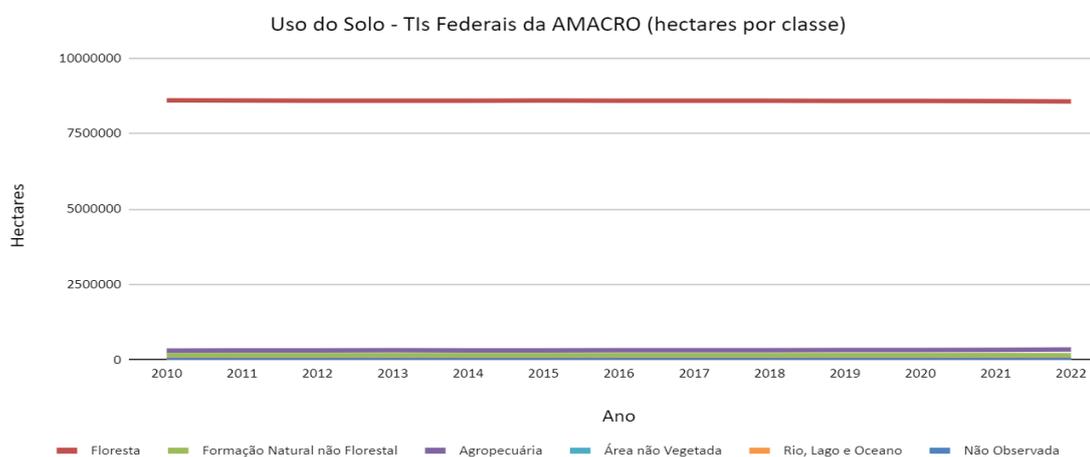


Figura 7 - Uso e cobertura do solo por classe nas TIs Federais da AMACRO, entre 2010 e 2022. Fonte: MapBiomias, 2023.

Considerando apenas o território dos municípios da AMACRO, o uso do solo em agropecuária passou de 4.222.907,11 ha em 2010 de uso do solo em agropecuária para 6.271.448,29 ha em 2022, representando um aumento de 48,51%. Áreas florestais na

AMACRO representavam 20.486.515,13 ha em 2010 e 18.394.545,52 ha em 2022, diminuindo 10,21%.

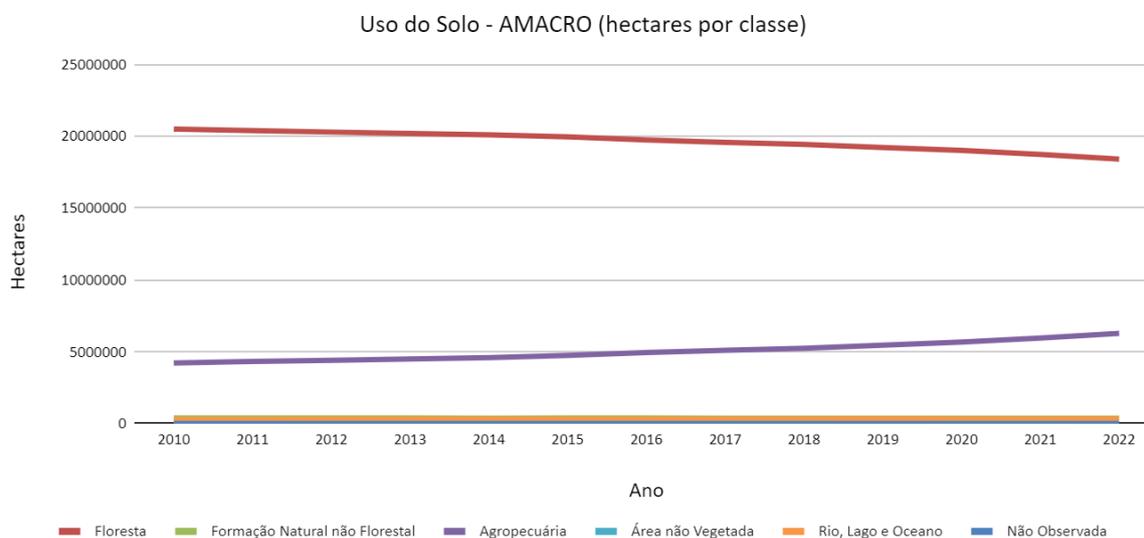


Figura 8 - Uso e cobertura do solo por classe nos municípios da AMACRO, entre 2010 e 2022. Fonte: MapBiomias, 2023.

A Tabela 16 apresenta os ganhos de área classificados como agropecuária e as perdas das áreas classificadas como florestais, em hectares e em porcentagem, entre os anos de 2010 e 2022 nas regiões de interesse do presente estudo na AMACRO.

Tabela 19 - Ganho de área agropecuária e perda de área florestal, em hectares e em porcentagem, nas regiões de interesse da AMACRO, entre 2010 e 2022. Fonte: MapBiomias, 2023.

ÁREA	GANHO DE ÁREA AGROPECUÁ RIA (ha)	PERDA DE ÁREA FLORESTAL (ha)	GANHO DE ÁREA AGROPECUÁ RIA (%)	PERDA DE ÁREA FLORESTAL (%)
AMACRO EXPANDIDO	2.124.244,30	-2.167.510,99	46,27%	8,07%
AMACRO	2.048.541,17	-2.091.969,61	48,51%	10,21%
AMACRO SEM UCS E SEM TIS	2.000.348,03	-2.044.283,65	50,76%	19,60%
UCS	93.589,64	-96.622,70	22,58%	1,06%
TIS	36.574,49	-32.916,16	11,68%	0,38%

4.4.2. Desmatamento pelo Dashboard do MapBiomias

O desmatamento foi observado pelos dados do MapBiomias para os anos de 2010 a 2021, em termos de perda de vegetação primária e de vegetação secundária, tanto anual quanto acumulada, para cada uma das regiões de interesse da AMACRO.

O desmatamento no território contendo a AMACRO e suas APs observou um crescimento de 79.588,56 ha em vegetação primária e 13.245,91 ha em vegetação secundária em 2010, para 292.533,81 ha em vegetação primária e 25.292,06 ha em vegetação secundária em 2021. O desmatamento acumulado entre 2010 e 2021 foi de 2.038.274,17 ha para vegetação primária e 251.699,73 ha em vegetação secundária, representando entre 2010 e 2021 um aumento no desmatamento de 2.461,01% para vegetação primária e de 1.800,21% para vegetação secundária.

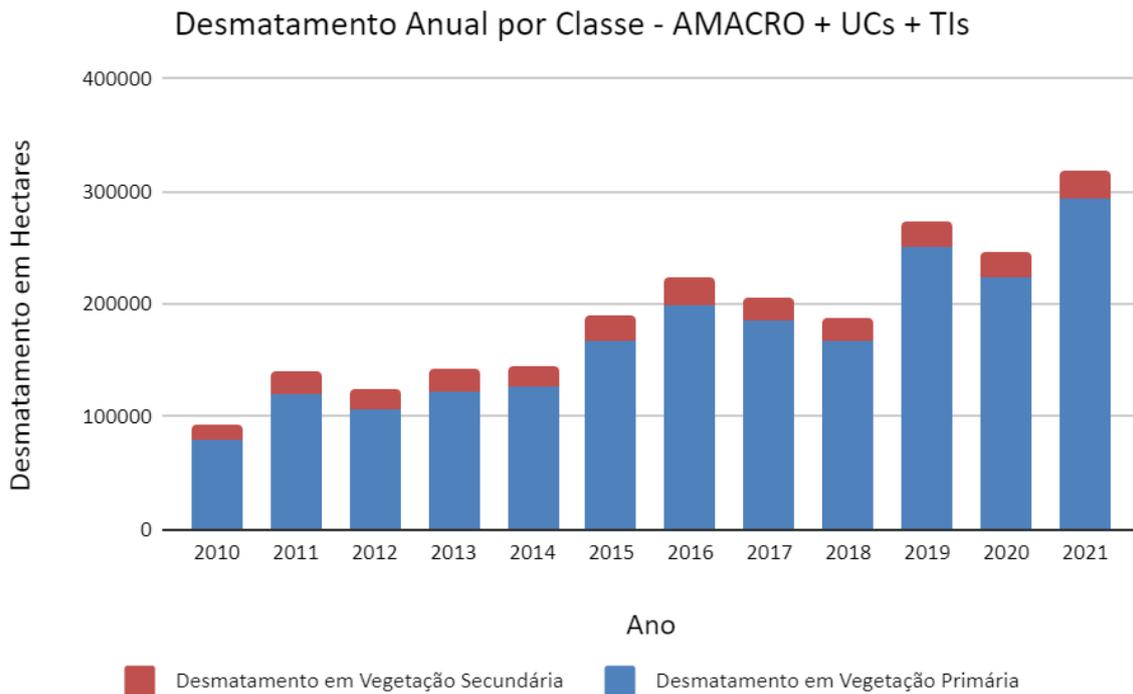


Figura 9 - Desmatamento anual por classe na AMACRO com UCs e com TIs, entre 2010 e 2021. Fonte: MapBiomias, 2023.

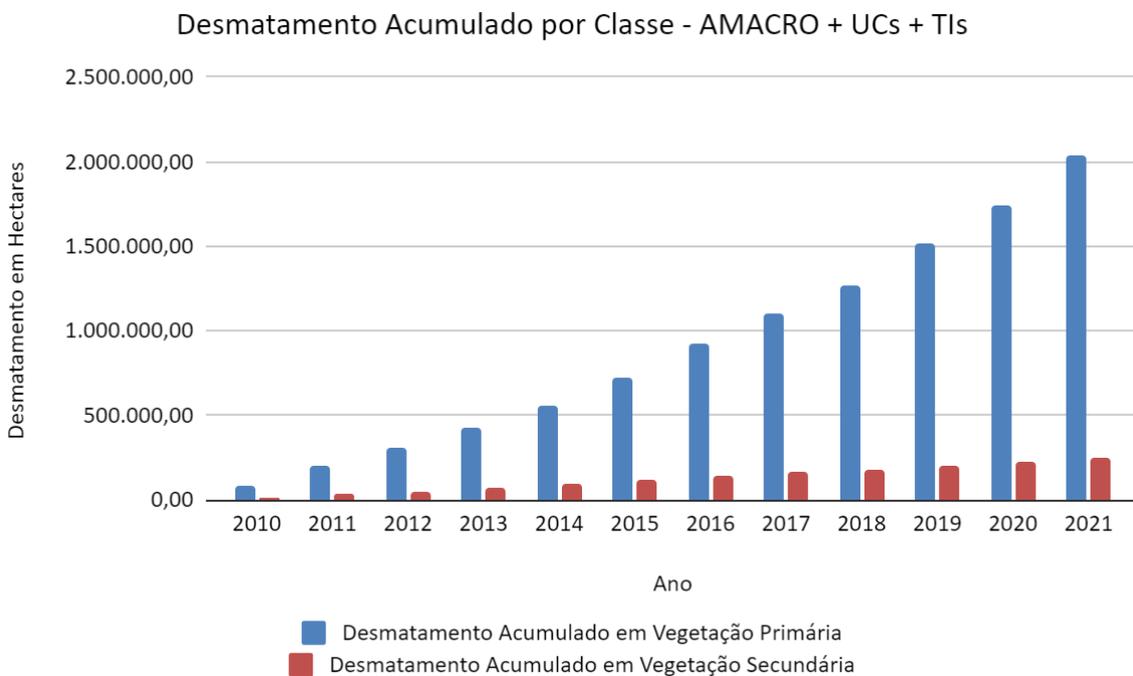


Figura 10 - Desmatamento acumulado por classe na AMACRO com UCs e com TIs, entre 2010 e 2021. Fonte: MapBiomias, 2023.

O desmatamento no território contendo a AMACRO desconsiderando suas APs, observou um crescimento de 75.361,71 ha em vegetação primária e 12.146,35 ha em

vegetação secundária em 2010, para 270.503,28 ha em vegetação primária e 22.909,84 ha em vegetação secundária em 2021. O desmatamento acumulado entre 2010 e 2021 foi de 1.913.288,95 ha para vegetação primária e 232.342,58 ha em vegetação secundária, representando entre 2010 e 2021 um aumento no desmatamento de 2.438,81% para vegetação primária e de 1.812,86% para vegetação secundária.

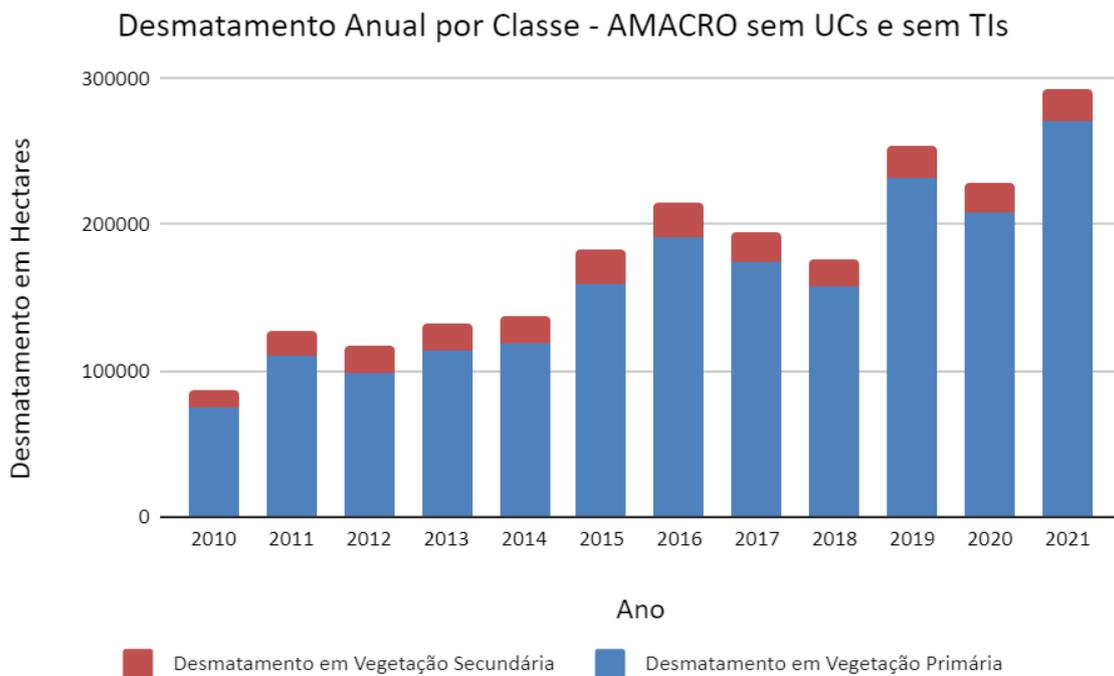


Figura 11 - Desmatamento anual por classe na AMACRO sem UCs e sem TIs, entre 2010 e 2021. Fonte: MapBiomas, 2023.

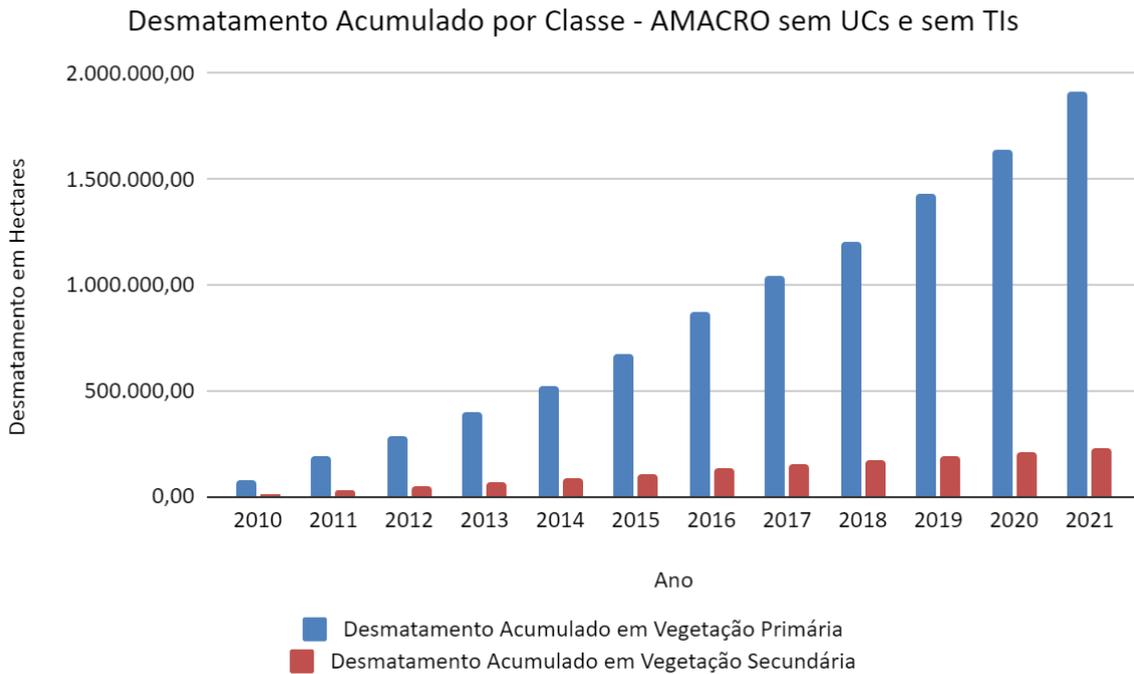


Figura 12 - Desmatamento acumulado por classe na AMACRO com UCs e com TIs, entre 2010 e 2021.
Fonte: MapBiomias, 2023.

O desmatamento no território das UCs da AMACRO observou um crescimento de 3.482,26 ha em vegetação primária e 781,31 ha em vegetação secundária em 2010, para 15.787,85 ha em vegetação primária e 1.719,98 ha em vegetação secundária em 2021. O desmatamento acumulado entre 2010 e 2021 foi de 92.763,11 ha para vegetação primária e 13.524,06 ha em vegetação secundária, representando entre 2010 e 2021 um aumento no desmatamento de 2.563,87% para vegetação primária e de 1.630,96% para vegetação secundária.

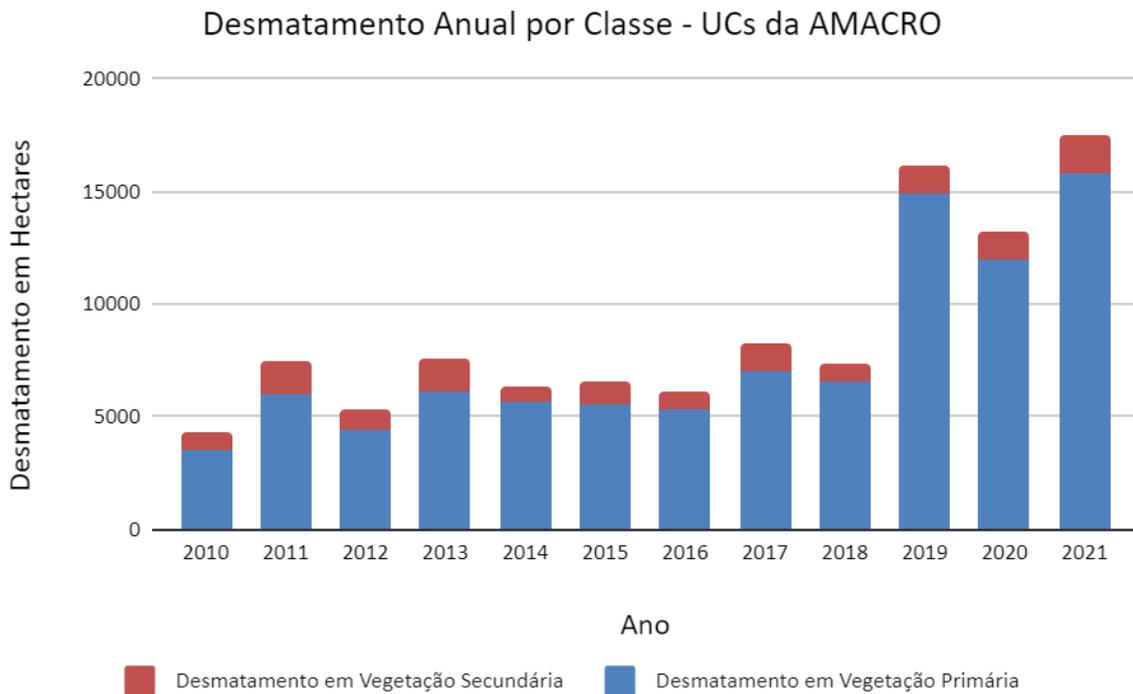


Figura 13 - Desmatamento anual por classe nas UCs da AMACRO, entre 2010 e 2021. Fonte: MapBiomás, 2023.

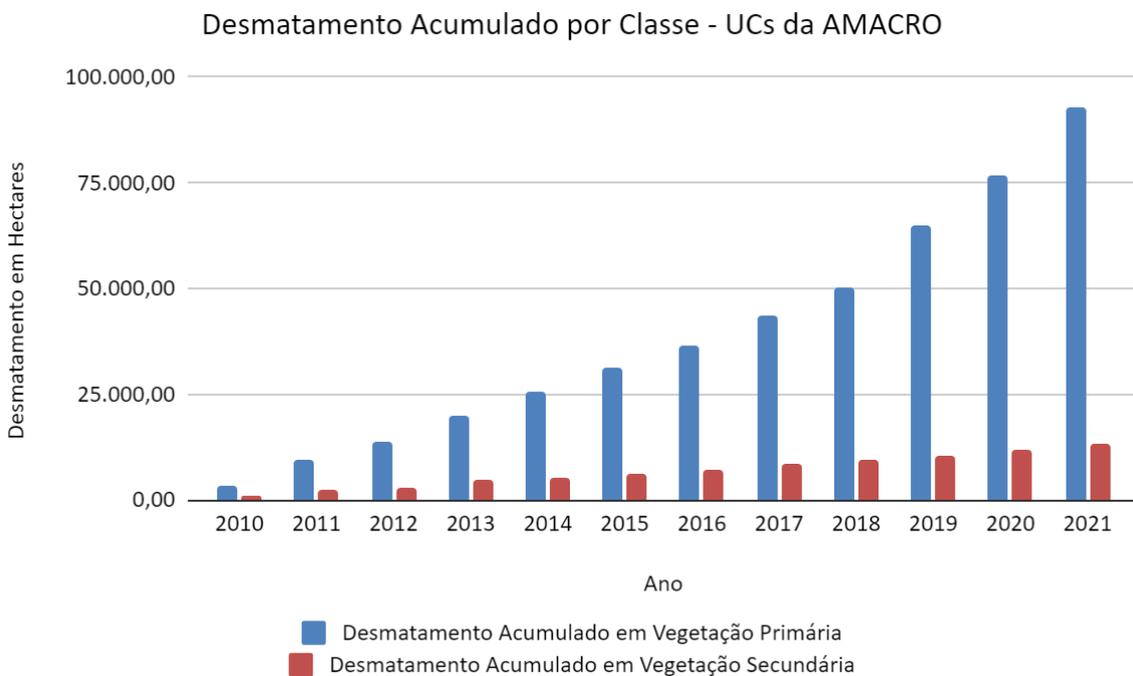


Figura 14 - Desmatamento acumulado por classe nas UCs da AMACRO, entre 2010 e 2021. Fonte: MapBiomás, 2023.

O desmatamento no território das TIs da AMACRO observou um crescimento de 918,32 ha em vegetação primária e 440,18 ha em vegetação secundária em 2010, para 7.106,67 ha em

vegetação primária e 1.262,12 ha em vegetação secundária em 2021. O desmatamento acumulado entre 2010 e 2021 foi de 37.910,34 ha para vegetação primária e 8.687,97 ha em vegetação secundária, representando entre 2010 e 2021 um aumento no desmatamento de 4.028,24% para vegetação primária e de 1.873,74% para vegetação secundária.

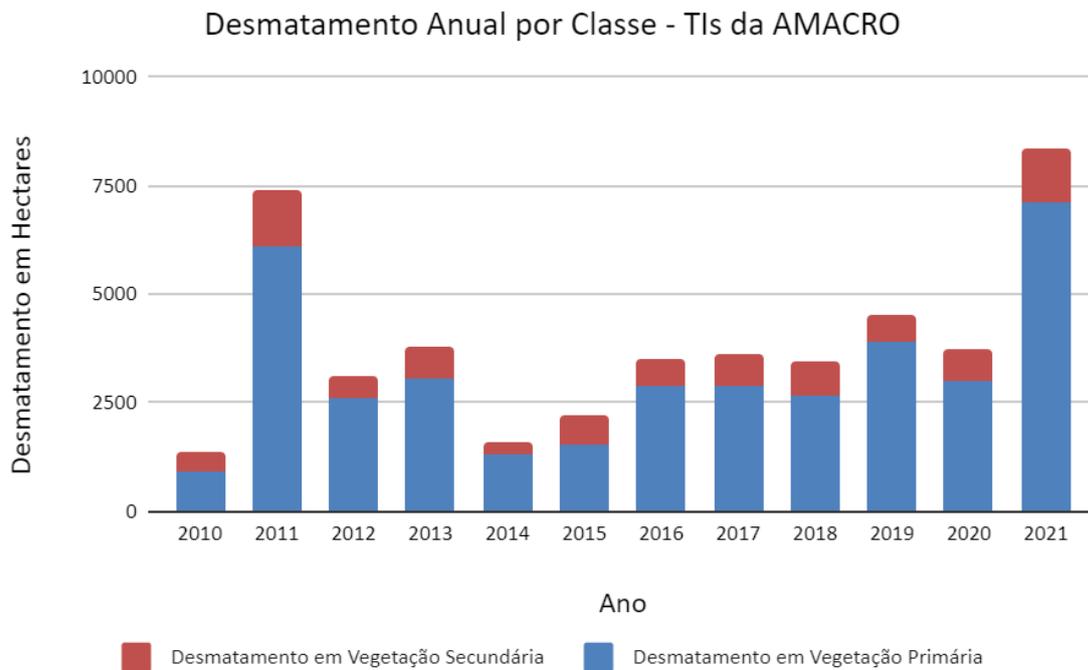


Figura 15 - Desmatamento anual por classe nas TIs da AMACRO, entre 2010 e 2021. Fonte: MapBiomias, 2023.

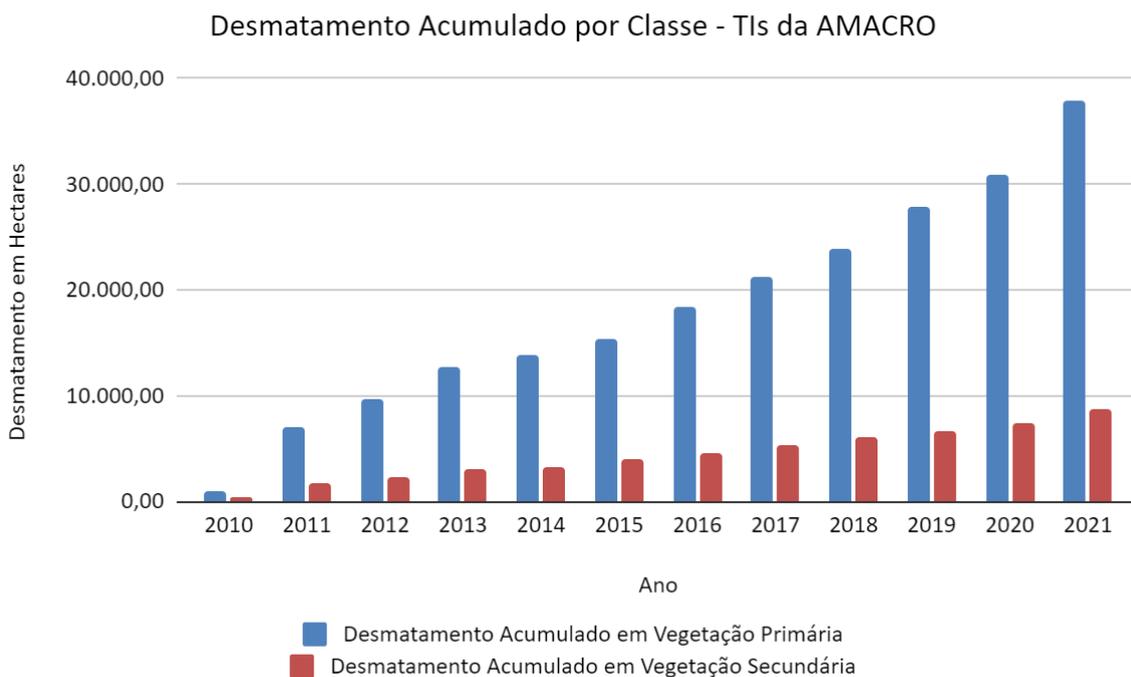


Figura 16 - Desmatamento acumulado por classe nas TIs da AMACRO, entre 2010 e 2021. Fonte: MapBiomias, 2023.

O desmatamento nos municípios da AMACRO observou um crescimento de 77.400,71 ha em vegetação primária e 12.698,28 ha em vegetação secundária em 2010, para 280.168,45 ha em vegetação primária e 23.810,54 ha em vegetação secundária em 2021. O desmatamento acumulado entre 2010 e 2021 foi de 1.969.805,26 ha para vegetação primária e 241.192,69 ha em vegetação secundária, representando entre 2010 e 2021 um aumento no desmatamento de 2.444,94% para vegetação primária e de 1.799,41% para vegetação secundária.

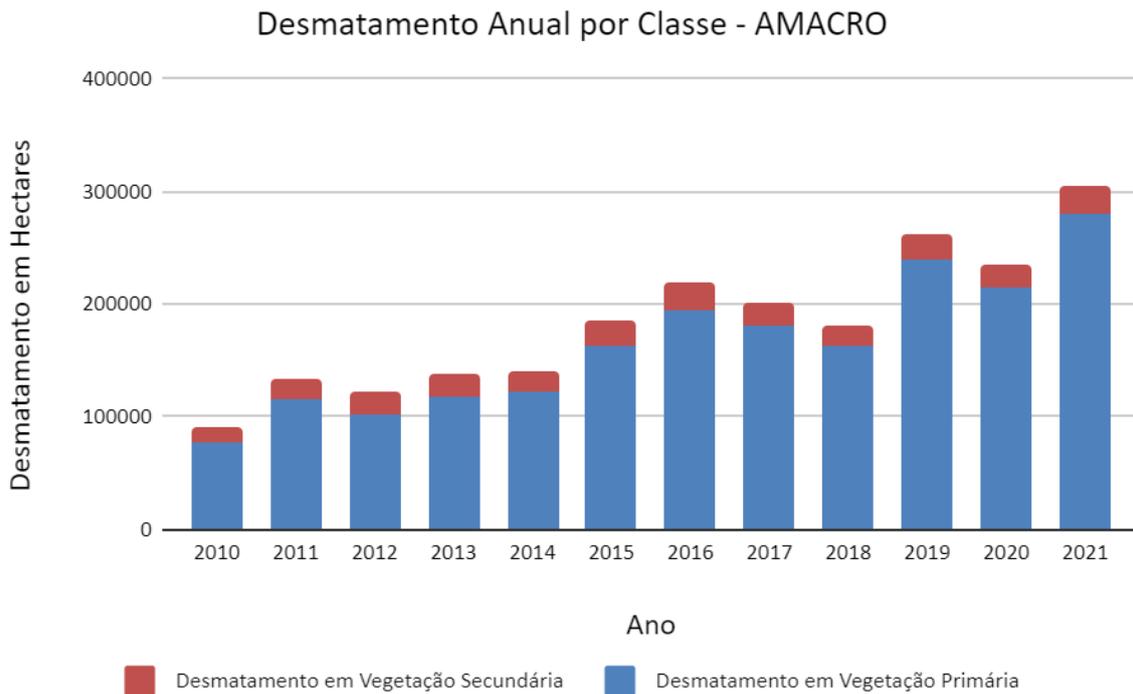


Figura 17 - Desmatamento anual por classe nos municípios da AMACRO, entre 2010 e 2021. Fonte: MapBiomas, 2023.

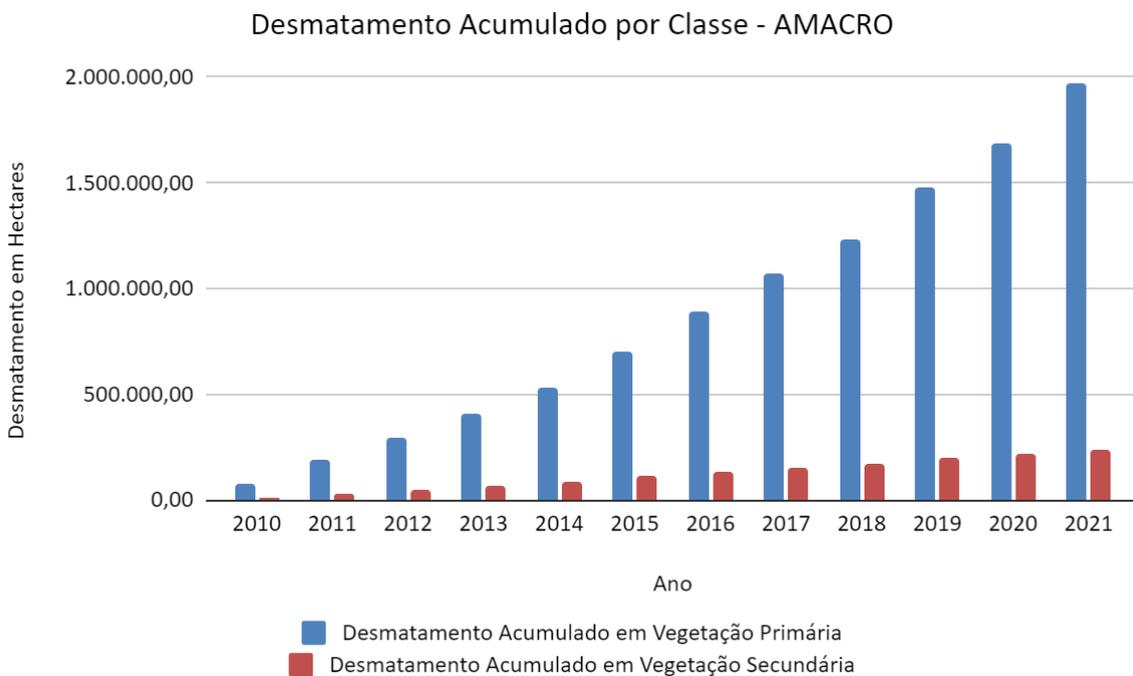


Figura 18 - Desmatamento acumulado por classe nos municípios da AMACRO, entre 2010 e 2021. Fonte: MapBiomas, 2023.

Levando em consideração os resultados obtidos para CO₂e/ha e os dados de desmatamento acumulado por hectare em vegetação primária e secundária nas regiões de

interesse da AMACRO, estimou-se que as perdas de CO₂e por desmatamento entre 2010 e 2021 foram de $1,418 \pm 0,405$ GtC para a AMACRO com suas APs, de $1,129 \pm 0,377$ GtC para a AMACRO sem suas APs, de $0,71 \pm 0,128$ GtC para as UCs da AMACRO, de $0,334 \pm 0,066$ GtC para as TIs da AMACRO e de $1,314 \pm 0,382$ GtC para os municípios da AMACRO.

Os valores obtidos foram utilizados para calcular as mudanças nas áreas florestais de cada território da AMACRO e regiões de interesse, e fornecerem dados para estimar a taxa de desmatamento acumulada entre 2010 e 2022 nos territórios estudados.

4.4.3. Mudanças no Uso do Solo e Desmatamento na AMACRO pelos Dados do MapBiomas no *Google Earth Engine*

Os dados disponíveis no *Google Earth Engine* da Coleção 8.0 do MapBiomas para transição do uso do solo na AMACRO entre 2010 e 2022, permitiu avaliar que os pixels correspondentes à classe 315 (transições de cobertura florestal ou áreas naturais não florestais para agropecuária ou áreas não vegetadas) representaram uma área 2.131.994 hectares na AMACRO Expandido e os pixels correspondentes à classe 1512 (transições de classes de agropecuária ou áreas não vegetadas para cobertura florestal ou áreas naturais não florestais) representaram uma área de 2.504 hectares.

Esses valores obtidos foram utilizados para calcular as mudanças na AGB da AMACRO e regiões de interesse, assim como a classe 315 foi utilizada para estimar o custo de oportunidade do desmatamento para o uso do solo em agropecuária.

4.5.CUSTOS DO DESMATAMENTO

Os resultados obtidos nas etapas anteriores permitiram estimar os custos do desmatamento observado na AMACRO e nas regiões de interesse, em termos de valores de madeira em tora, madeira em pé, mercado de carbono voluntário, CPR Verde e agropecuária, além de uma estimativa do desmatamento evitado em áreas protegidas em projetos REDD+ do mercado de carbono voluntário.

4.5.1. Estimativa monetária nos mercados de madeira em tora, madeira em pé, mercado de carbono voluntário, CPR Verde e agropecuário

Para a AMACRO as atividades subsequentes ao desmatamento, podem ter gerado um ganho médio de US\$ 17.555.170.193,73 para madeira em tora, e de US\$ 1.243.219.372,86 para o uso do solo em agropecuária. Os potenciais ganhos monetários, caso as áreas desmatadas tivessem sido preservadas, foram estimados em US\$ 7.202.272.829,29 para a

média do mercado de créditos de carbono voluntário, em US\$ 25.183.050.777,93 para o CPR Verde, e em US\$ 6.179.308.652,82 para a média do mercado da madeira em pé.

Para a AMACRO Expandido as atividades subsequentes ao desmatamento, podem ter gerado um ganho médio de US\$ 18.072.659.855,24 para madeira em tora, e em US\$ 1.275.604.958,80 para o uso do solo em agropecuária. Os potenciais ganhos monetários, caso as áreas desmatadas tivessem sido preservadas, foram estimados em US\$ 7.400.804.396,44 para a média do mercado de créditos de carbono voluntário, em US\$ 25.877.224.777,58 para o CPR Verde, e em US\$ 6.361.491.734,10 para a média do mercado da madeira em pé.

Para a AMACRO sem as UCs e as TIs, as atividades subsequentes ao desmatamento, podem ter gerado um ganho médio de US\$ 17.183.794.922,52 para madeira em tora, e US\$ 1.218.861.955,18 para o uso do solo em agropecuária. Os potenciais ganhos monetários, caso as áreas desmatadas tivessem sido preservadas, foram estimados em US\$ 7.202.272.829,29 para a média do mercado de créditos de carbono voluntário, em US\$ 24.661.109.321,86 para o CPR Verde, e em US\$ 6.048.586.910,94 para a média do mercado da madeira em pé.

Para as TIs da AMACRO as atividades subsequentes ao desmatamento, podem ter gerado um ganho médio de US\$ 237.130.930,56 para madeira em tora, e US\$ 16.116.361,19 para o uso do solo em agropecuária. Os potenciais ganhos monetários, caso as áreas desmatadas tivessem sido preservadas, foram estimados em US\$ 69.156.533,81 para a média do mercado de créditos de carbono voluntário, em US\$ 241.808.737,85 para o CPR Verde, e em US\$ 83.468.584,75 para a média do mercado da madeira em pé.

Para as UCs da AMACRO as atividades subsequentes ao desmatamento, podem ter gerado um ganho médio de US\$ 687.062.929,84 para madeira em tora, e US\$ 43.334.858,03 para o uso do solo em agropecuária. Os potenciais ganhos monetários, caso as áreas desmatadas tivessem sido preservadas, foram estimados em US\$ 297.671.624,28 para a média do mercado de créditos de carbono voluntário, em US\$ 1.040.821.391,67 para o CPR Verde, e em US\$ 241.841.797,06 para a média do mercado da madeira em pé.

Tabela 20 - Estimativa dos valores que podem ter sido gerados nos mercados de madeira em tora e da agropecuária, com a AGB subtraída em cada região de interesse na AMACRO entre 2010 e 2022.

	Madeira em Tora	Agropecuária
REFERÊNCIA	FIEAC (2024)	Alves e Diniz (2020)
VALOR MÉDIO	US\$ 37,87/m ³	US\$ 589,27/ha
TERRITÓRIO	TOTAL	TOTAL
AMACRO EXPANDIDO	US\$ 18.072.659.855,24	US\$ 1.275.604.958,80

AMACRO	US\$ 17.555.170.193,73	US\$ 1.243.219.372,86
AMACRO SEM UCS E SEM TIS	US\$ 17.183.794.922,52	US\$ 1.218.861.955,18
TIs da AMACRO	US\$ 237.130.930,56	US\$ 16.116.361,19
UCs da AMACRO	US\$ 687.062.929,84	US\$ 43.334.858,03

Tabela 21 - Estimativa dos possíveis ganhos nos mercados da madeira em pé, mercado de carbono e CPR Verde, caso fosse preservado o que se perdeu de AGB em cada região de interesse na AMACRO entre 2010 e 2022.

	Madeira em Pé	Mercado de Carbono Voluntário	CPR Verde
REFERÊNCIA	Batista et al. (2021)	Ecosystem Marketplace (2022)	Projeto <i>Green Guardians</i> (2024)
VALOR MÉDIO	US\$ 13,33/m³	US\$ 10,14/t	US\$ 25,28/t
TERRITÓRIO	TOTAL	TOTAL	TOTAL
AMACRO EXPANDIDO	US\$ 6.361.461.734,10	US\$ 10.379.551.394,17	US\$ 25.877.224.777,58
AMACRO	US\$ 6.179.308.652,82	US\$ 10.101.112.930,70	US\$ 25.183.050.777,93
AMACRO SEM UCS E SEM TIS	US\$ 6.048.586.910,94	US\$ 9.891.758.248,56	US\$ 24.661.109.321,86
TIs da AMACRO	US\$ 83.468.584,75	US\$ 96.991.321,28	US\$ 241.808.737,85
UCs da AMACRO	US\$ 241.841.797,06	US\$ 417.481.365,17	US\$ 1.040.821.391,67

Analisando cada uma das TIs da AMACRO, estimou-se que os potenciais maiores ganhos monetários com as atividades subsequentes ao desmatamento observado ocorreram nos territórios de Uru Eu Wau Wau, com valor médio de US\$ 94.934.091,10 para madeira em tora, e US\$ 7.329.074,51 para agropecuária; de Karipuna, com valor médio de US\$ 60.448.650,15 para madeira em tora, e US\$ 3.351.444,24 para agropecuária; e de Tenharim Marmelos Gleba B, com valor médio de US\$ 15.586.126,14 para madeira em tora, e US\$ 1.108.405,32 para agropecuária.

Caso esse desmatamento fosse contido, essas respectivas TIs poderiam ter gerado, em média: US\$ 46.945.533,89 no mercado de carbono, US\$ 164.147.039,66 no CPR Verde, e US\$ 33.416.198,42 com madeira em pé, no caso da TI Uru Eu Wau Wau; US\$ 25.490.740,91 no mercado de carbono, US\$ 89.129.450,93 no CPR Verde, e US\$ 21.277.541,76 com madeira em pé, no caso da TI Karipuna; US\$ 3.607.252,78 no mercado de carbono, US\$ 12.612.911,53 no CPR Verde, e US\$ 5.486.217,62 com madeira em pé, no caso da TI Tenharim Marmelos Gleba B.

As tabelas com as estimativas monetárias para cada TI individualmente, encontram-se no APÊNDICE I para a estimativa dos valores que podem ter sido gerados nos mercados de madeira em tora e da agropecuária, considerando a AGB subtraída da região entre os anos de

2010 e 2022, e no APÊNDICE II para a estimativa dos possíveis ganhos nos mercados da madeira em pé, mercado de carbono e CPR Verde, considerando que essa AGB fosse preservada entre os anos de 2010 e 2022.

Analisando cada uma das UCs da AMACRO, estimou-se que os potenciais maiores ganhos monetários com as atividades subsequentes ao desmatamento observado ocorreram nos territórios da Resex Chico Mendes, com valor médio de US\$ 472.133.415,58 para madeira em tora, e US\$ 28.954.243,62 para agropecuária; da Flona do Bom Futuro, com valor médio de US\$ 53.938.214,76 para madeira em tora, e US\$ 3.775.025,38 para agropecuária; e do Parna Pacáas Novos, com valor médio de US\$ 34.593.281,10 para madeira em tora, e US\$ 2.654.950,21 para agropecuária.

Caso esse desmatamento fosse contido, essas respectivas UCs poderiam ter gerado, em média: US\$ 197.452.588,45 no mercado de carbono, US\$ 690.401.305,13 no CPR Verde, e US\$ 166.187.970,15 com madeira em pé, no caso da UC Resex Chico Mendes; US\$ 22.636.721,35 no mercado de carbono, US\$ 79.150.251,12 no CPR Verde, e US\$ 18.985.909,76 com madeira em pé, no caso da UC Flona do Bom Futuro; US\$ 16.418.461,62 no mercado de carbono, US\$ 57.407.843,67 no CPR Verde, e US\$ 12.176.615,71 com madeira em pé, no caso da UC Parna Pacáas Novos.

As tabelas com as estimativas monetárias para cada UC individualmente, encontram-se no APÊNDICE III para a estimativa dos valores que podem ter sido gerados nos mercados de madeira em tora e da agropecuária, considerando a AGB subtraída da região entre os anos de 2010 e 2022, e no APÊNDICE IV para a estimativa dos possíveis ganhos nos mercados da madeira em pé, mercado de carbono e CPR Verde, considerando que essa AGB fosse preservada entre os anos de 2010 e 2022.

4.5.2. Estimativa monetária no mercado de carbono voluntário em projetos REDD+

Para as TIs da AMACRO, considerando projetos REDD+ e CPR Verde pela metodologia VM0015 da Verra, a linha de base como a área florestal em cada território em 2010 e levando em consideração a taxa de desmatamento observada entre 2010 e 2022, os possíveis ganhos monetários com as áreas que não foram desmatadas entre 2010 e 2022 foram estimados em US\$ 11.467.757.962,42 para a média do mercado de créditos de carbono voluntários em projetos REDD+, e em US\$ 28.590.228.924,05 para o CPR Verde.

Para as UCs da AMACRO, considerando projetos REDD+ pela metodologia VM0015 da Verra, a linha de base como a área florestal em cada território em 2010 e levando em consideração a taxa de desmatamento observada entre 2010 e 2022, os possíveis ganhos monetários com as áreas que não foram desmatadas entre 2010 e 2022 foram estimados em US\$ 69.156.533,81 para a média do mercado de créditos de carbono voluntários em projetos REDD+, e em US\$ 27.118.262.491,84 para o CPR Verde.

Tabela 22 - Estimativa dos valores que poderiam ter sido gerados com a área não desmatada das TIs e UCs da AMACRO entre 2010 e 2022, a partir de uma linha de base de desmatamento considerando projetos REDD+ no mercado de carbono voluntário.

	Valor potencial em projetos REDD+ (US\$)	Valor potencial em projetos de CPR Verde (US\$)
REFERÊNCIA	Ecosystem Marketplace (2022)	Projeto <i>Green Guardians</i> (2024)
VALOR MÉDIO	US\$ 10,14/t	US\$ 25,28/t
TERRITÓRIO	TOTAL	TOTAL
TIS da AMACRO	US\$ 11.467.757.962,42	US\$ 28.590.228.924,05
UCS da AMACRO	US\$ 10.877.341.046,97	US\$ 27.118.262.491,84

Analisando cada uma das TIs da AMACRO, com referência da linha de base como a área florestal em cada território em 2010 e levando em consideração a taxa de desmatamento observada entre 2010 e 2022, estimou-se que os potenciais maiores ganhos monetários em projetos REDD+ poderiam ter ocorrido nos territórios de Deni, com valor médio de US\$ 2.427.710.098,07, e de CPR Verde em US\$ 6.052.515.905,25; de Uru-Eu-Wau-Wau, com valor médio de US\$ 1.865.714.666,32 em projetos REDD+, e de CPR Verde em US\$ 4.651.406.978,77; e de Hi Merimã, com valor médio de US\$ 1.093.604.717,33 projetos REDD+, e de CPR Verde em US\$ 2.726.462.253,85.

Analisando cada uma das UCs da AMACRO, com referência da linha de base como a área florestal em cada território em 2010 e levando em consideração a taxa de desmatamento observada entre 2010 e 2022, estimou-se que os potenciais maiores ganhos monetários em projetos REDD+ poderiam ter ocorrido nos territórios da Flona do Iquiri, com valor médio de US\$ 2.094.275.359,11, e de CPR Verde em US\$ 5.221.230.875,58; do Parna Mapinguari, com valor médio de US\$ 1.749.632.316,35 em projetos REDD+, e de CPR Verde em US\$ 4.362.002.461,27; e da Resex Ituxi, com valor médio de US\$ 968.100.352,47 em projetos REDD+, e de CPR Verde em US\$ 2.413.567.742,64.

As tabelas com as estimativas monetárias considerando projetos REDD+ e CPR Verde pela metodologia VM0015 da Verra para cada TI e UC individualmente, encontram-se nos APÊNDICE V e APÊNDICE VI, respectivamente.

4.6.SÍNTESE DOS RESULTADOS

A região da AMACRO possui diferentes configurações do uso e cobertura do solo, influenciando diretamente na capacidade de cada área em estocar carbono. Os resultados do presente estudo destacam a complexa interação entre o uso do solo, a cobertura vegetal e a dinâmica do desmatamento, ressaltando desafios significativos e oportunidades para a gestão ambiental e o desenvolvimento sustentável na região, potencialmente contribuindo para a freada do avanço da AMACRO em números alarmantes de desmatamento.

Observou-se que a região da AMACRO enfrenta desafios significativos relacionados à pressão antrópica e desmatamento, conforme evidenciado RAD 2022 (MapBiomass, 2023). A observação da dinâmica do uso e cobertura do solo entre 2010 e 2022 revelou um aumento da atividade agropecuária na região principalmente por pastagens, inclusive em áreas protegidas, destacando-se como um fator relevante de transformação no território. O crescimento das áreas destinadas à agropecuária contrasta com a diminuição das áreas florestais, indicando uma mudança na paisagem e potencial perda do carbono estocado em biomassa, aumentando as emissões de GEE, principalmente nas frações do território da AMACRO que não fazem parte de APs. Com dados do projeto MapBiomass, observou-se um aumento percentual significativo no desmatamento acumulado na área da AMACRO sem considerar as UCs e as TIs, contribuindo para quantidades significativas de emissões de CO₂ na atmosfera e apontando para a urgência de medidas efetivas de conservação, como ressaltado no RAD 2022 (MapBiomass, 2023).

Entre os anos de 2019 e 2021, observou-se um aumento expressivo do desmatamento na região da AMACRO. Esse salto no desmatamento é particularmente notável em áreas protegidas, onde a perda de cobertura florestal, em termos percentuais, foi maior do que nos anos anteriores. Isso levanta questionamentos sobre as políticas ambientais adotadas durante esse período e como essas mudanças podem ter impactado a fiscalização e a proteção das florestas, especialmente em um contexto aonde o desmatamento vinha sendo controlado em anos anteriores. O aumento significativo do desmatamento dentro das APs, que deveriam ser áreas com maior controle e proteção, pode ser visto como um reflexo da fragilização das

políticas ambientais e da fiscalização que marcaram a gestão governamental da época, resultando em uma diminuição das ações de comando e controle que anteriormente ajudavam a conter o desmatamento (Trancoso, 2021).

Outro ponto crucial que não pode ser ignorado é a influência da expectativa de pavimentação do trecho do meio da BR-319, uma das obras mais controversas na Amazônia. Essa rodovia cruza a porção leste da AMACRO, ligando Manaus a Porto Velho, e tem sido alvo de muitas críticas por suas possíveis consequências ambientais, principalmente pela facilitação de acesso à exploração madeireira e agropecuária em áreas que antes eram de difícil acesso. A expectativa da pavimentação pode ter influenciado diretamente os dados de desmatamento observados, uma vez que obras de infraestrutura, especialmente rodovias, são frequentemente associadas à expansão do desmatamento em áreas remotas da Amazônia, podendo ser observado o desmatamento conhecido por espinha de peixe, que ocorre perpendicularmente ao traçado de rodovias (Sansolo, 2022). A BR-319, ao cruzar regiões sensíveis da floresta, aumenta a pressão para desmatamento, tanto pela exploração direta quanto pela especulação fundiária, um fenômeno que historicamente acompanha grandes obras na região.

Nesse sentido, a análise dos dados de biomassa e carbono equivalente na região da AMACRO entre 2010 e 2022 permitiu observar uma diminuição considerável na biomassa florestal devido à expansão agrícola e pecuária, resultando em uma liberação de carbono na atmosfera. Essas mudanças refletem uma tendência preocupante de degradação ambiental que pode comprometer os esforços de mitigação das mudanças climáticas na região.

Os dados levantados revelam uma redução na média de tAGB/ha em todas as áreas de interesse entre 2010 e 2022, conforme Figura 19.

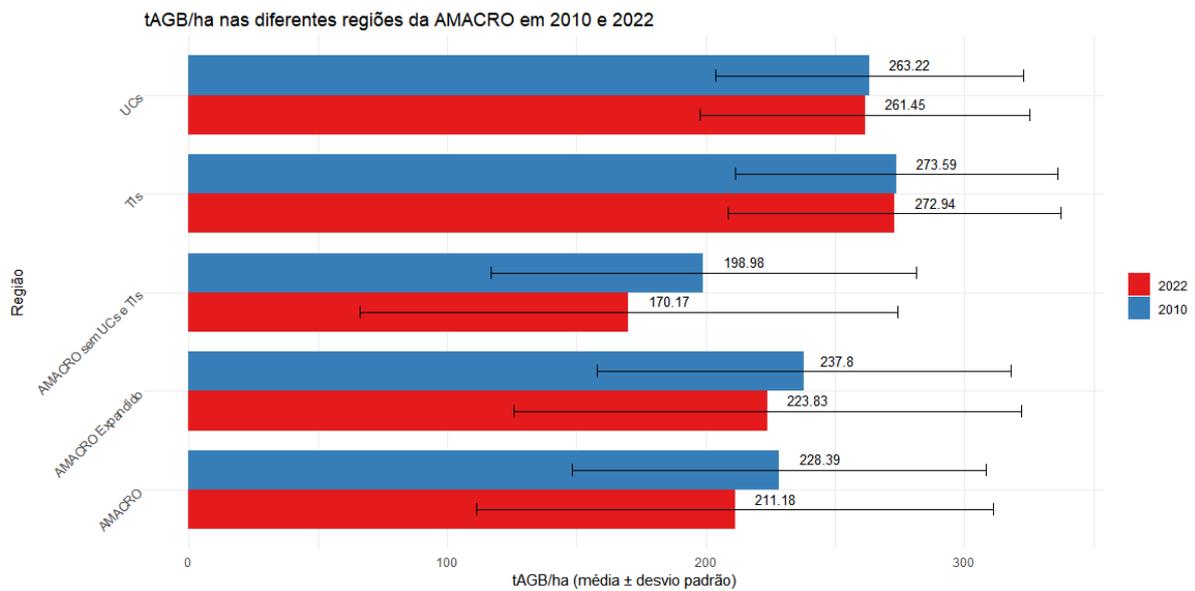


Figura 19 - Toneladas de biomassa viva acima do solo por hectare (tAGB/ha), em 2010 e 2022, em cada região de interesse da AMACRO.

Observou-se também, uma redução no estoque total de AGB dentro da área dos territórios alvos do estudo, conforme Figura 20.

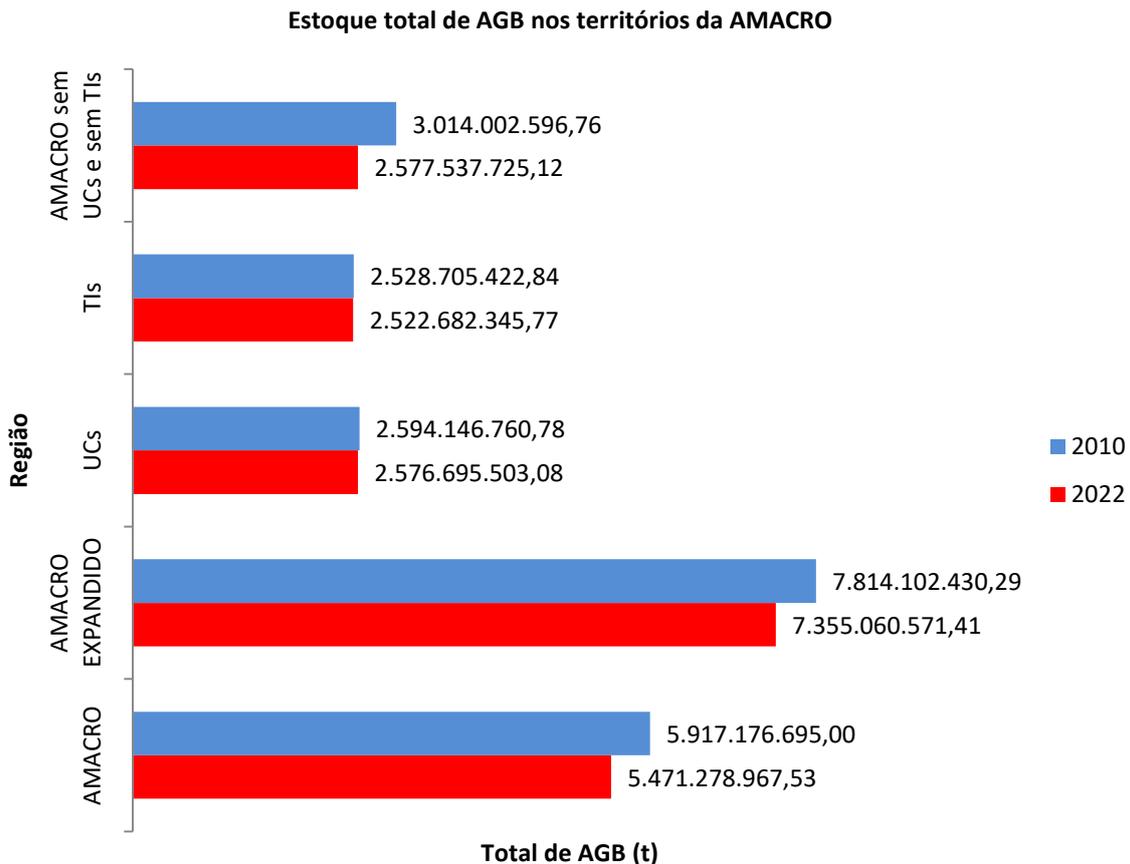


Figura 20 - Toneladas de biomassa viva acima do solo totais (tAGB), em 2010 e 2022, em cada região de interesse da AMACRO.

Esses resultados indicam uma tendência geral de diminuição da biomassa, particularmente acentuada fora das UCs e TIs, que mostraram resiliência contra a degradação ambiental, embora a pequena redução indique pressões persistentes. A redução na AGB pode ser atribuída principalmente ao desmatamento e à conversão de terras para uso agrícola e pecuário, principalmente nas áreas ausentes de proteção territorial formal, facilitando a substituição de florestas para outros usos do solo.

Em relação ao estoque de carbono, em termos de CO₂e, observaram-se declínios similares aos de AGB, conforme Figura 21.

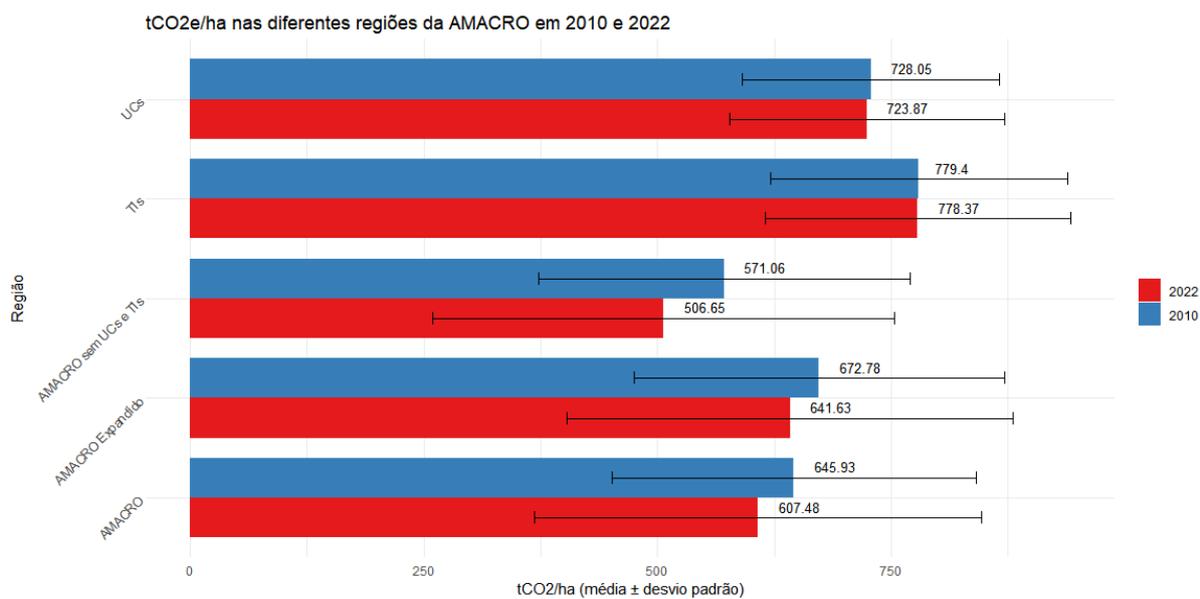


Figura 21 - Toneladas de dióxido de carbono equivalente por hectare (tCO₂e/ha), em 2010 e 2022, em cada região de interesse da AMACRO.

Observou-se também, uma redução no estoque total de carbono, em termos de CO₂e, dentro da área dos territórios alvos do estudo, conforme Figura 22.

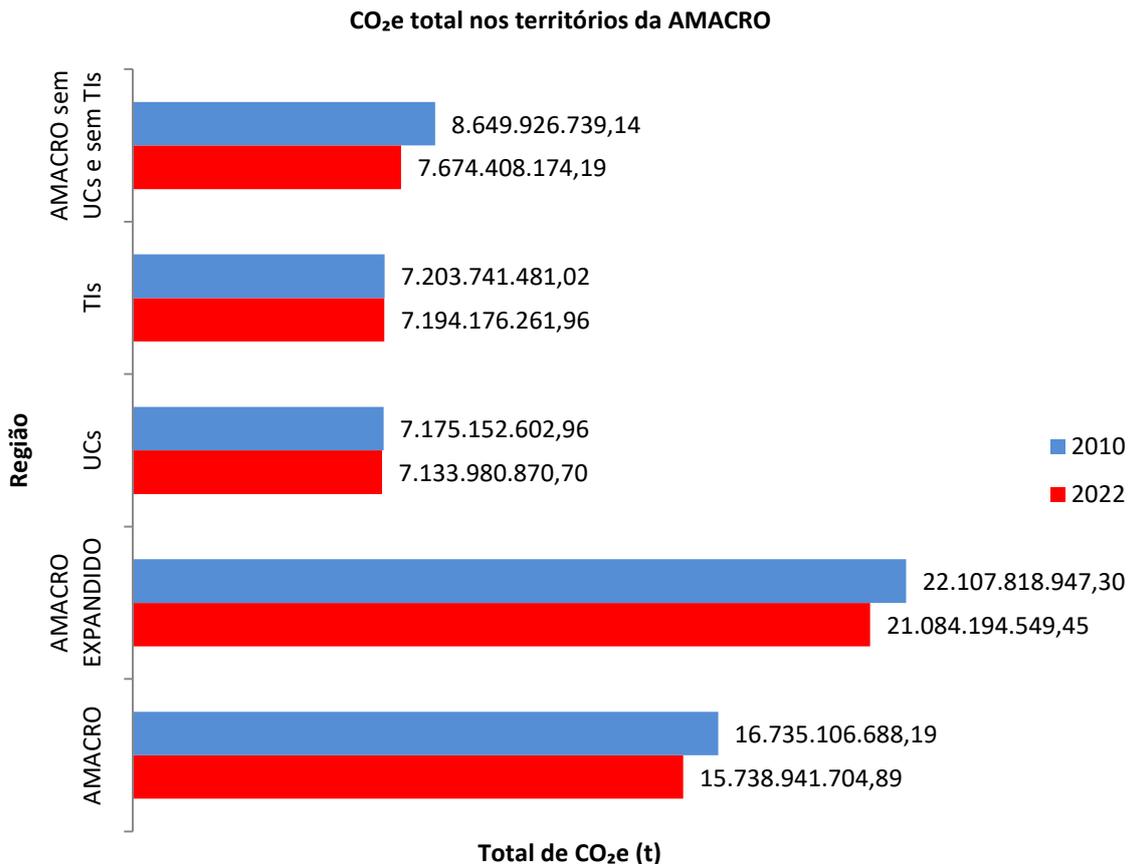


Figura 22 - Toneladas de dióxido de carbono equivalente totais (tCO₂e), em 2010 e 2022, em cada região de interesse da AMACRO.

Os dados indicam que as áreas protegidas conseguiram manter melhor os seus estoques de carbono em comparação com áreas não protegidas, destacando a importância das UCs e TIs na conservação de carbono e na mitigação das mudanças climáticas. As APs mantiveram níveis mais estáveis de biomassa e carbono, demonstrando uma eficácia relativa das políticas de conservação. As UCs Flona Humaitá e Resex Médio Purús e as TIs Hi Merimã, Jarawara/Jamadi/Kanamati, Nove de Janeiro, Tenharim Marmelos, Acimã, São Pedro do Sepatini, Diahui, Paumari do Rio Ituxi e Tumiã Hi Merimã se destacaram no estoque de carbono, influenciados principalmente pela evolução do carbono orgânico no solo, indicando a relevância dessas APs.

Visto que entre as UCs da AMACRO a maioria é do grupo de Uso Sustentável, sendo possíveis alvos de concessão florestal e onde, muitas vezes, comunidades locais conciliam a conservação da natureza com o uso sustentável de parte dos recursos naturais, a parcela de estoque de carbono nesses territórios chama atenção. As TIs também se destacam, possuindo muitas áreas na região e apresentando grande quantidade de carbono em seus territórios. Isso

ressalta ainda mais a importância das APs e do manejo sustentável exercido pelas comunidades nessas áreas, influenciando na contenção do desmatamento e na proteção do meio ambiente. Um fato relevante observado foi que a Reserva Extrativista Chico Mendes, uma UC de Uso Sustentável, apresentou uma perda de biomassa e de estoque de carbono quase dez vezes maior que as demais UCs. A referida UC enfrenta problemas complexos de interesses de grandes grupos empresariais e de uso do solo florestal diferentes do extrativismo tradicional (Pereira de Melo Fittipaldu, M. C. & Castelo, 2024), que contribuem significativamente para os resultados observados. Na AMACRO em geral, a redução reflete uma perda contínua de carbono estocado devido ao desmatamento, contribuindo para o aumento das emissões de GEE.

Em termos de perda de área florestal, com base nos dados do MapBiomas, observamos a maior taxa de desmatamento entre 2010 e 2022 no território da AMACRO que não considera suas áreas protegidas (19,60%), e as menores taxas de desmatamento estão em áreas protegidas (UCs e TIs), conforme Figura 23.

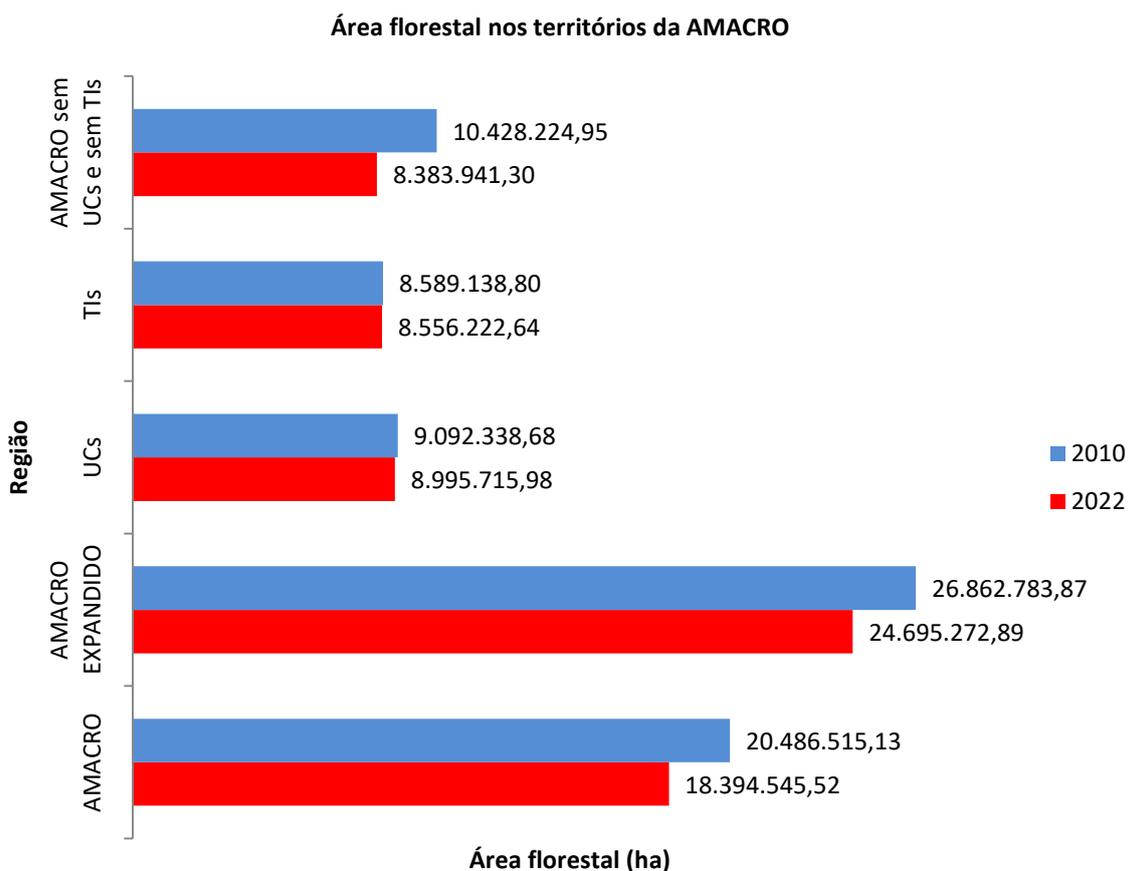


Figura 23 - Perda de área florestal entre 2010 e 2022 na AMACRO e suas regiões. Fonte: MapBiomias, 2023.

Esses resultados permitiram avaliar a estimativa de custos, pelas mudanças no uso do solo da AMACRO entre 2010 e 2022, avaliados em termos de valores de madeira em tora, madeira em pé, mercado de carbono voluntário, CPR Verde e agropecuária. Para a AMACRO, as atividades subsequentes ao desmatamento podem ter gerado pode ter representado um ganho médio de US\$ 17.555.170.193,73 para madeira em tora e de US\$ 1.243.219.372,86 para o uso do solo em agropecuária. Os possíveis ganhos monetários, caso as áreas desmatadas tivessem sido preservadas, foram estimados em US\$ 7.202.272.829,29 para a média do mercado de créditos de carbono voluntário, em US\$ 25.183.050.777,93 para o CPR Verde e em US\$ 6.179.308.652,82 para a média do mercado da madeira em pé.

Ainda, foi realizada uma análise que demonstra o impacto significativo das áreas protegidas na região da AMACRO na contenção do desmatamento, em comparação com as áreas desprotegidas entre 2010 e 2022. Por meio da análise levando em consideração os projetos REDD+ no mercado voluntário de carbono e utilizando a mesma metodologia para estimar novamente o CPR Verde nesse contexto, foi possível considerar a capacidade das TIs

e UCs da AMACRO de evitar desmatamento, resultando em emissões evitadas de GEE que, por sua vez, poderiam ter gerado créditos de carbono no mercado voluntário. Ao comparar o comportamento dessas APs com as regiões sem proteção legal, no caso o território da AMACRO sem UCs e sem TIs, observou-se uma taxa de desmatamento potencial de 19,60% em 13 anos, que poderia ter ocorrido nas TIs e UCs caso não existissem.

Os resultados mostraram que, no mercado de carbono voluntário em projetos REDD+, as UCs e TIs da AMACRO poderiam ter gerado juntas um valor estimado de US\$ 22.345.098.872,39. No âmbito do CPR Verde, o valor foi ainda mais expressivo, atingindo uma estimativa de US\$ 55.708.491.415,89. Isso destaca a importância das áreas protegidas, tanto em termos de contenção de desmatamento, quanto na potencialidade na geração de receitas por meio de créditos de carbono e serviços ambientais, por meio do desmatamento evitado. Comparativamente, esses valores são significativamente superiores às estimativas baseadas apenas no estoque de carbono remanescente em 2022, reforçando um cenário em que o valor monetário das áreas protegidas reside não apenas no carbono estocado, mas também nas emissões evitadas que teriam ocorrido se essas áreas fossem desmatadas ao longo do período analisado, aumentando substancialmente a potencialidade de retornos financeiros quando se considera a prevenção ao desmatamento, em vez de focar apenas no carbono estocado, evidenciando e valorizando o papel de proteção das APs. Ressaltamos que as estimativas do CPR Verde nesse cenário se mostraram, inclusive, mais interessantes em termos de ganhos monetários do que os consolidados mercados madeireiros e agropecuários.

As estimativas dos potenciais ganhos em cada mercado, para cada região da AMACRO, estão consolidadas na Figura 24.

Estimativas monetárias para a AMACRO e seus territórios no período de 2010 a 2022 (US\$)

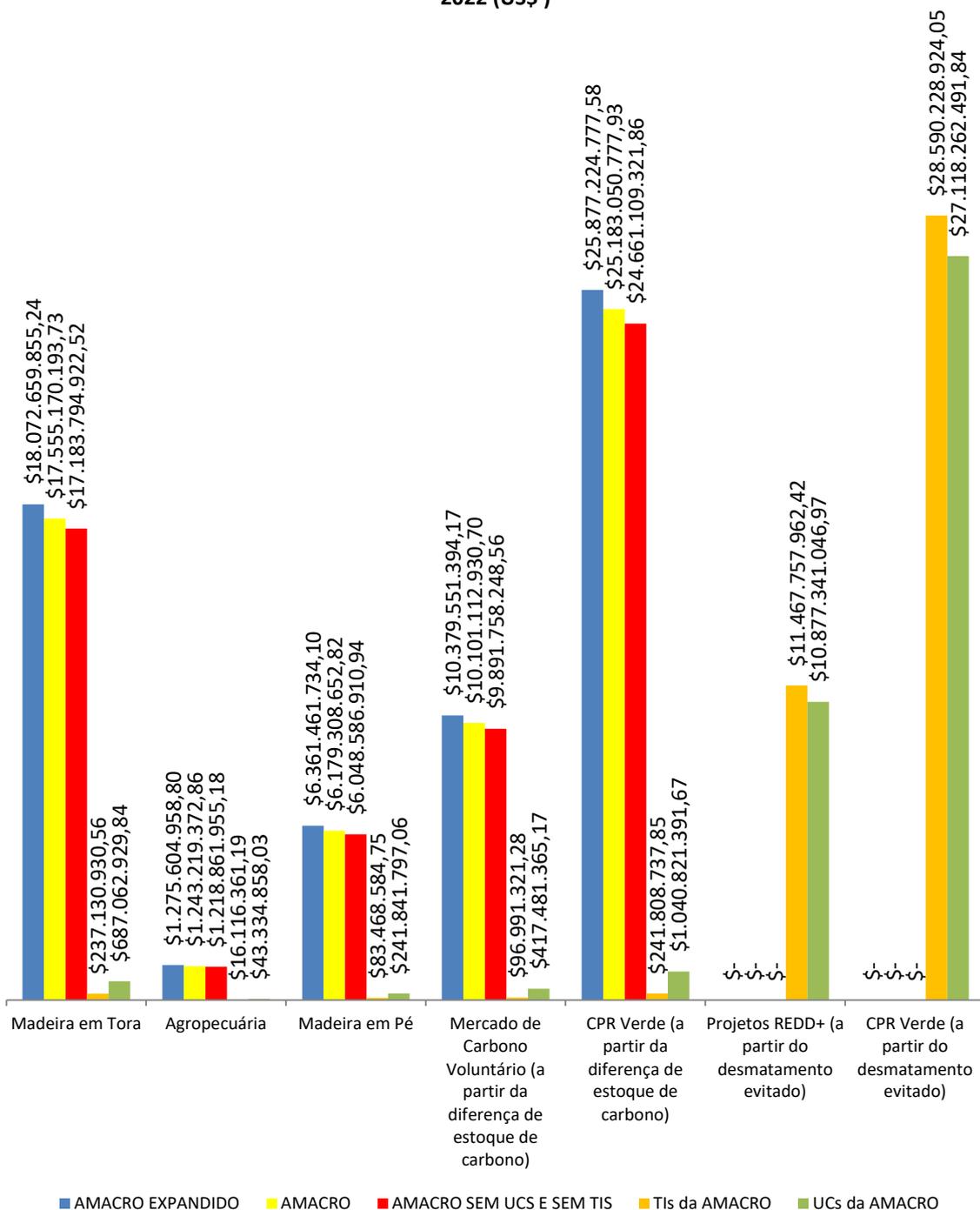


Figura 24 - Estimativas dos potenciais ganhos em cada mercado na AMACRO, entre 2010 e 2022.

As variações observadas refletem diferenças nas práticas de manejo e conservação, bem como nas pressões de desmatamento enfrentadas por cada território. A principal causa da redução na biomassa e no carbono na região da AMACRO é a conversão de florestas para uso agrícola e pecuário, onde a demanda por terras cultiváveis e pastagens continua a crescer,

pressionando as áreas florestais remanescentes, fator que, aliado às atividades ilegais de desmatamento e a incidência de incêndios florestais, contribui significativamente para a perda de biomassa.

Esses fatores mencionados são intensificados pela falta de fiscalização e pela aplicação insuficiente da legislação ambiental, aliado ao enfraquecimento dessa legislação e dos órgãos ambientais. Foi observado que as UCs e TIs, mesmo que frequentes alvos de pressões antrópicas, mostraram ser relativamente eficazes na conservação de biomassa e carbono, destacando a importância da existência de políticas de conservação ambiental e proteção da biodiversidade em territórios. No entanto, apesar da menor redução de biomassa e dióxido de carbono equivalente observada nesses territórios em geral, o aumento do desmatamento na região indica que a proteção deve ser fortalecida e a necessidade de um apoio contínuo para práticas de manejo sustentável, pois essas áreas não estão imunes às pressões externas.

Em relação aos impactos econômicos estimados para o desmatamento observado na AMACRO entre 2010 e 2022, observou-se que há um potencial significativo para a valorização econômica das áreas florestais na região, especialmente através de mecanismos como o mercado de carbono voluntário e os serviços ambientais, embora o consolidado mercado madeireiro ainda seja monetariamente relevante na região amazônica. Para que os mercados verdes e sustentáveis se fortaleçam, são necessários regulamentação e incentivos adequados para os proprietários de terras e comunidades locais, visando superar os atrativos do mercado madeireiro.

Nesse sentido, os desafios observados para que mercados relacionados à conservação florestal superem os mercados baseados na degradação são a falta de regulamentação robusta e eficaz, a falta de implementação de políticas claras e transparentes visando a sustentabilidade, além da distribuição justa de benefícios econômicos adquiridos nos projetos sustentáveis. Com a falta de regulamentação e de incentivos, a conservação da biomassa e do carbono não é priorizada em frente às pressões econômicas de curto prazo.

Além do exposto, políticas públicas devem focar na proteção de áreas vulneráveis e na restauração de áreas degradadas, visto que as APs representaram territórios bastante relevantes na contenção da degradação florestal e a restauração é uma forte aliada na mitigação de GEE (Barros, 2022). O potencial econômico dos mercados de carbono e de

serviços ambientais é significativo, principalmente nos territórios que não observaram desmatamento e que possam ser alvo de projetos de conservação, mas a sua eficácia depende da implementação de regulamentações adequadas e de incentivos financeiros, observando os benefícios em longo prazo.

5. CONCLUSÃO

A AMACRO é uma região da Amazônia que vem experimentando um aumento no desmatamento e aumento das áreas utilizadas para agropecuária, observando-se uma crescente pressão antrópica, além de graves ameaças de degradação ambiental e violência. Para diversificar os fatores econômicos na região e estimular práticas que mantenham as florestas em pé, o mercado de carbono e serviços ambientais se mostram viáveis na AMACRO pelo potencial da região e principalmente de suas Áreas Protegidas (APs), compostas no estudo por Unidades de Conservação (UCs) Federais e Terras Indígenas (TIs) homologadas pela FUNAI, no estoque de dióxido de carbono equivalente em sua biomassa e solo, revelando oportunidades de compensação financeira pela preservação ambiental.

Além de contribuir para a conservação, as APs de uso sustentável desempenham um papel crucial no sustento de comunidades, reforçando a ideia de que a preservação ambiental vai ao encontro do desenvolvimento econômico. A valorização das práticas sustentáveis pode não apenas conservar os recursos naturais, mas também fortalecer a resiliência das comunidades locais, atentando-se aos desafios enfrentados em suas participações no mercado de carbono e em serviços ambientais, como barreiras financeiras e administrativas, além do descaso de empresas em relação à distribuição justa de recursos às comunidades locais. Embora as UCs e TIs desempenhem um papel importante na preservação dos estoques de biomassa e carbono, há uma clara necessidade de expandir esses esforços para áreas não protegidas e implementar regulamentações mais rigorosas, com necessidade de apoio externo, políticas mais inclusivas, incentivos fiscais e capacitação local para que esses obstáculos possam ser superados.

A análise do presente estudo evidenciou um aumento significativo no desmatamento na AMACRO e suas APs entre 2019 e 2021, período marcado por um enfraquecimento das políticas ambientais e da fiscalização durante a gestão governamental vigente à época. Esse período coincidiu com a intensificação das atividades ilegais, invasão de terras protegidas e aumento da pressão para a expansão agropecuária, aliando-se à falta de apoio às instituições de fiscalização ambiental e ao desmonte de órgãos ambientais (Trancoso, 2021). Outro ponto relevante é a influência da expectativa de pavimentação da BR-319, uma das obras mais sensíveis em termos ambientais na Amazônia. Esses fatores contribuem para um cenário propício para a escalada do desmatamento na região da AMACRO, contribuindo para a redução do estoque de carbono e biomassa.

Esse contexto político contribuiu diretamente para o aumento das áreas desmatadas, com uma média anual de desmatamento crescente, que alcançou 390.187 hectares em 2022 na AMACRO, como mostrado pelos dados do MapBiomias. Esses números representam não apenas uma perda significativa de carbono estocado, mas também uma redução das oportunidades no mercado de carbono voluntário e serviços ambientais, que poderiam gerar ganhos financeiros significativos caso essas áreas tivessem sido preservadas.

Para estimar os potenciais financeiros nos diferentes mercados, a combinação da base de dados de biomassa viva acima do solo (AGB) de Baccini et al. (2012) com dados sobre o carbono orgânico no solo do projeto MapBiomias permitiu integrar os cinco principais componentes de carbono nas florestas, proporcionando uma estimativa abrangente do carbono estocado na região da AMACRO. O uso de ferramentas de geoprocessamento gratuitas, como o MapBiomias, o *Google Earth Engine* e o QGIS, mostraram-se eficazes na estimativa de biomassa e carbono equivalente, permitindo uma avaliação das alterações no uso do solo e suas implicações ambientais, configurando-se com a principal contribuição metodológica do estudo. A integração dessas tecnologias com políticas de conservação fornecem uma base sólida e acessível para o desenvolvimento de estratégias de manejo sustentável e de planejamentos climáticos.

As limitações encontradas durante o uso dos dados de sensoriamento remoto e das ferramentas de geoprocessamento foram acerca do aspecto macro espacial da análise, considerando que a base de dados que subsidiou o estudo possui uma resolução espacial que estima a média de AGB em t/ha em áreas de 25 hectares. Com maior poder de resolução seria possível observar ainda mais detalhadamente a influência de cada área na complexa dinâmica da região. Outro fator limitante foram os dados temporais, no caso análises focadas nos anos de 2010, de 2022 e no intervalo entre esses dois anos, sugerindo-se uma avaliação que abranja um histórico maior da região da AMACRO e, também, intervalos temporais mais curtos, para observar detalhes sobre variações sazonais e anuais.

Além disso, a metodologia aplicada considerou toda a área de estudo como pertencente exclusivamente ao bioma amazônico, desconsiderando os enclaves de cerrado presentes na região. Essa generalização subestimou a biomassa viva abaixo do solo (BGB) nessas áreas e, conseqüentemente, os estoques de carbono, já que a BGB foi estimada a partir de uma proporção fixa da AGB para o bioma amazônico. Se as especificidades do cerrado

tivessem sido levadas em consideração, é provável que os estoques de carbono nessas áreas fossem mais elevados, impactando os resultados gerais da análise.

O estudo mostrou que, em relação carbono, a AMACRO possuía um estoque de 16.735.106.688,19 toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO₂e) em 2010 e 15.738.941.704,89 tCO₂e em 2022, apresentando uma diferença de 996.164.983,30 tCO₂e no período. Essa diferença sugere que as atividades subsequentes ao desmatamento podem ter representado um potencial médio de US\$ 17.555.170.193,73 para madeira em tora e de US\$ 1.243.219.372,86 para o uso do solo em agropecuária. Os potenciais monetários, caso a biomassa tivesse sido preservada, foram estimados em US\$ 7.202.272.829,29 para a média do mercado de créditos de carbono voluntário, em US\$ 25.183.050.777,93 para o CPR Verde, um tipo de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), e em US\$ 6.179.308.652,82 para a média do mercado da madeira em pé. Esses valores refletem tanto os ganhos potenciais com a exploração dos recursos naturais quanto os potenciais monetários caso as áreas tivessem sido preservadas, evidenciando os custos econômicos associados ao desmatamento na AMACRO.

Considerando as taxas de desmatamento, foi realizada uma análise do potencial ganho financeiro do que foi evitado de desmatamento no período de 2010 a 2022 nas UCs e nas TIs, considerando uma metodologia de valoração de projetos REDD+, onde essas APs da AMACRO poderiam ter gerado juntas um valor de US\$ 22.345.098.872,39. No caso do CPR Verde a partir desse cenário, os valores estimados foram de US\$ 55.708.491.415,89, se mostrando mais interessante monetariamente em relação aos valores estimados para as atividades subsequentes ao desmatamento, como o mercado madeireiro e o agropecuário. Ressalta-se que os valores obtidos através dessa abordagem são significativamente superiores às estimativas baseadas apenas na diferença de estoque de carbono entre 2010 e 2022, demonstrando o impacto das abordagens metodológicas que, além de considerarem o estoque de carbono, incluem o desmatamento evitado. Ao incluir essa variável, há uma valorização das APs, destacando o papel fundamental desses territórios na contenção do desmatamento e na proteção do meio ambiente.

As complexidades na valoração dos recursos monetários utilizados na pesquisa, com variações das médias dos mercados considerados no presente trabalho, assim como as divergências nos valores levantados historicamente para quantidade de biomassa e carbono na Amazônia, também caracterizaram limitações. A metodologia simplificada aplicada para

estimar projetos REDD+, baseada no procedimento VM0015 da certificadora Verra, também enfrentou limitações, devido ao longo período analisado a partir da linha de base (13 anos, em frente aos 10 anos recomendados) e à carência de dados completos e precisos sobre a dinâmica de carbono nas áreas florestais consideradas, diferentes usos do solo e vazamento de emissões, desconsiderando fatores importantes.

Ainda nesse sentido, o foco exclusivo em APs compostas por UCs Federais e TIs homologadas pela FUNAI não abrange a totalidade das áreas que desempenham papéis importantes na conservação ambiental, sugerindo-se análises que expandam o número de territórios para incluir UCs estaduais e municipais, corredores ecológicos e áreas de transição, por exemplo. Ressalta-se que a análise do potencial das APs no mercado de carbono e de serviços ambientais no presente estudo foi feita como um exercício hipotético, pois a temática é sensível na realidade atual de falta de regulamentação do mercado de carbono e de relatos de exploração com distribuição injusta de recursos por parte empresas em projetos de carbono em TIs.

No entanto, os dados obtidos revelaram oportunidades significativas para benefícios financeiros e ambientais, desde que as comunidades locais sejam devidamente incluídas e protegidas, assim como o mercado de carbono seja regulamentado considerando todos os agentes. Assim, a abordagem apresentada visa garantir que as populações beneficiárias dos territórios sejam as titulares dos benefícios gerados, promovendo a preservação ambiental e o desenvolvimento econômico sustentável a quem realmente exerce um papel de proteção dessas áreas.

Nesse contexto, a regulamentação do mercado do carbono no Brasil se mostra cada vez mais urgente e inadiável, se configurando como um ativo complementar a outros serviços ambientais, como o PSA. Embora os resultados do presente estudo demonstrem que o mercado de carbono voluntário e o PSA têm potencial financeiro atrativo, a falta de regulamentação, fiscalização e padronização de procedimentos metodológicos para mensuração e monitoramento do carbono, caracterizam o cenário nebuloso do contexto atual no Brasil, contribuindo para relatos de projetos voluntários que exploram comunidades locais e não distribuem adequadamente os benefícios obtidos.

Por fim, ressalta-se a importância de manter as informações atualizadas sobre biomassa e carbono estocados na Amazônia, para embasar decisões estratégicas no âmbito das políticas públicas e regulamentação do mercado de carbono no Brasil. A dinâmica

acelerada de mudanças na Amazônia, especialmente na região da AMACRO, demanda ações rápidas e objetivas para garantir a eficácia das medidas de preservação ambiental e sustentabilidade econômica, contribuindo para ações de mitigação e redução de emissões dos GEE no planeta.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA ESPACIAL EUROPEIA (ESA). Synthetic Aperture Radar (SAR). Disponível em: <https://earth.esa.int/eogateway/instruments/sar-ers>. Acesso em: 29 mai. 2024

ALBERT, J. S. et al. Human impacts outpace natural processes in the Amazon. *Science*, v. 379, n. 6630, 27 jan. 2023.

ALVES, V. DA P.; DINIZ, M. B. Uso da renúncia do uso produtivo da terra em prol da conservação do carbono florestal: Raízes: Revista de Ciências Sociais e Econômicas, v. 40, n. 1, p. 44–62, 3 dez. 2020.

ASNER, G. P. et al. High-resolution forest carbon stocks and emissions in the Amazon. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 107, n. 38, p. 16738–16742, 21 set. 2010.

AVITABILE, V. et al. An integrated pan-tropical biomass map using multiple reference datasets. *Global Change Biology*, v. 22, n. 4, p. 1406–1420, 10 abr. 2016.

BACCINI, A. et al. Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps. *Nature Climate Change*, v. 2, n. 3, p. 182–185, 29 mar. 2012.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. Cotações e boletins. Dólar dos EUA. Histórico de cotações para o ano de 2022. 2024. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/historicocotacoes>. Acesso em: 21 jul. 2024.

BARROS, G. M. Análise comparativa dos gases de efeito estufa (GEE) no setor energético no estado de Alagoas. 2023. 36 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2022.

BIOFILICA RESEX RIO PRETO-JACUNDÁ. REDD+ VCS-CCB VALID 16 Rainforest Alliance. Validation report VCS version 3, CCB standards third edition. VM00015.

BRASIL. Decreto nº 10.828, de 1º de outubro de 2021. Regulamenta a emissão de Cédula de Produto Rural, relacionada às atividades de conservação e recuperação de florestas

nativas e de seus biomas, de que trata o inciso II do § 2º do art. 1º da Lei nº 8.929, de 22 de agosto de 1994. Brasília, 1º de outubro de 2021; 200º da Independência e 133º da República.

BRASIL. Decreto nº 5.758, de 13 de abril de 2006. Institui o Plano Estratégico Nacional de Áreas Protegidas - PNAP, seus princípios, diretrizes, objetivos e estratégias, e dá outras providências. Brasília, 13 abr. 2006; 185º da Independência e 118º da República.

BRASIL. Decreto nº 1.775, de 8 de janeiro de 1996. Dispõe sobre o procedimento administrativo de demarcação das terras indígenas e dá outras providências. Brasília, 8 jan. 1996; 175º da Independência e 108º da República.

BRASIL. Lei nº 11.284, de 2 de março de 2006. Dispõe sobre a gestão de florestas públicas para a produção sustentável; institui, na estrutura do Ministério do Meio Ambiente, o Serviço Florestal Brasileiro - SFB; cria o Fundo Nacional de Desenvolvimento Florestal - FNDf; altera as Leis nºs 10.683, de 28 de maio de 2003, 5.868, de 12 de dezembro de 1972, 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, 4.771, de 15 de setembro de 1965, 6.938, de 31 de agosto de 1981, e 6.015, de 31 de dezembro de 1973; e dá outras providências. Brasília, 2 mar. 2006; 185º da Independência e 118º da República.

BRASIL. Lei nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021. Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais; e altera as Leis nºs 8.212, de 24 de julho de 1991, 8.629, de 25 de fevereiro de 1993, e 6.015, de 31 de dezembro de 1973, para adequá-las à nova política. Brasília, 10 jun. 2021; 200º da Independência e 133º da República.

BRASIL. Lei nº 14.590, de 24 de maio de 2023. Altera a Lei nº 11.284, de 2 de março de 2006, que dispõe sobre a gestão de florestas públicas para a produção sustentável, a Lei nº 11.516, de 28 de agosto de 2007, que dispõe sobre a criação do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, e a Lei nº 12.114, de 9 de dezembro de 2009, que cria o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima. Brasília, 24 maio 2023; 202º da Independência e 135º da República.

BRASIL. 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, 18 jul. 2000; 179º da Independência e 112º da República.

BRASIL. Lei nº 6.001/1973. Dispõe sobre o Estatuto do Índio. Brasília, DF, 1973. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6001.htm. Acesso em: 17 jun. 2023.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Protocolo de Quioto: a convenção sobre mudança do clima: O Brasil e a convenção – quadro das Nações Unidas. Brasília: MCT, [200-]. Apoio do Ministério das Relações Exteriores. 29 p.

BRITO, A. C. L.; POZZETTI, V. C. Mercado de créditos de carbono na Amazônia e comunidades indígenas e tradicionais. *Percurso*, [S.l.], v. 3, n. 40, p. 85-91, dez. 2021. ISSN 1678-569X. Disponível em: <https://revista.unicuritiba.edu.br/index.php/percurso/article/view/5536>. Acesso em: 05 jun. 2024. doi:<http://dx.doi.org/10.21902/RevPercurso.2316-7521.v3i41.5536>.

BROWN, S.; LUGO, A. E. Above biomass estimates for tropical moist forest of the Brazilian Amazon. *Interciência*, v. 17, n. 1, p. 8-18, 1992.

BUSTAMANTE, M. M. C. et al. Ecological restoration as a strategy for mitigating and adapting to climate change: lessons and challenges from Brazil. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, v. 24, n. 7, p. 1249–1270, 25 out. 2019.

CALEGARE, M. G. A.; HIGUCHI, M. I. G.; BRUNO, A. C. DOS S. Povos e comunidades tradicionais: das áreas protegidas à visibilidade política de grupos sociais portadores de identidade étnica e coletiva. *Ambiente & Sociedade*, v. 17, n. 3, p. 115–134, set. 2014.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. Agência Câmara de Notícias. Sancionada lei de pagamento por serviços ambientais. 14 jan. 2021. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/noticias/721368-sancionada-lei-de-pagamento-por-servicos-ambientais/#:~:text=Trata%2D%20se%20de%20uma%20forma,cadastro%20nacional%20so bre%20os%20pagamentos>. Acesso em: 13 dez. 2023.

CARNEIRO, J. P. S.; SOUSA, J. S. DE. Pagamento de serviços ambientais: uma análise sobre sua implantação. *Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade*, v. 9, n. 18, 28 jul. 2020.

CASSOL, H. L. G. Estimativa de biomassa e estoque de carbono em um fragmento de floresta ombrófila mista com uso de dados ópticos de sensores remotos. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

CASSOL, H. L. G. et al. Quad-pol advanced land observing satellite/phased array L-band synthetic aperture radar-2 (ALOS/PALSAR-2) data for modelling secondary forest above-ground biomass in the central Brazilian amazon. *International Journal of Remote Sensing*, v. 42, n. 13, p. 4985–5009, 3 jul. 2021.

CAVALLET, Luiz Ermindo; PAULA, V. P. Estimativa de sequestro de carbono da biomassa aérea como indicador de sustentabilidade em decorrência da adequação da área de preservação permanente da sub-bacia do Rio Pequeno (Antônia-PR). Curitiba: UFPR, 2007.

CGEE. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Manual de capacitação sobre mudança climática e projetos de mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) - Ed. rev. e atual. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010.

CHULES, E. L. Floresta Nacional do Jamari: percepções e expectativas dos atores sobre a concessão florestal. 2018. 171 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) - Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

CIMI. Conselho Indigenista Missionário. Em evento, indígenas e trabalhadores rurais apontam ameaças do mercado de carbono e do agronegócio à autonomia dos territórios. Encontro sobre os impactos da fronteira agrícola, desmatamento e mineração na região AMACRO discute as mentiras e armadilhas nos discursos de créditos de carbono e do agronegócio. 2023. Disponível em: <https://cimi.org.br/2023/09/mercado-de-carbono-agronegocio-ameacas/>. Acesso em: 22 jul. 2024.

CONFERENCE OF THE PARTIES TWENTY-FIRST SESSION. Paris, 30 November to 11 December 2015. Agenda item 4(b) Durban Platform for Enhanced Action (decision 1/CP.17) Adoption of a protocol, another legal instrument, or an agreed outcome with legal force under the Convention applicable to all Parties. Adoption of the Paris Agreement. Proposal by the President Draft decision -/CP.21. Disponível em: <https://unfccc.int/documents/9064>. Acesso em: 28 de mai. 2023.

CONSELHO EMPRESARIAL BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (CEBDS). Proposta de Marco Regulatório para o Mercado de Carbono Brasileiro. Agosto de 2021. Disponível em: <https://cebds.org/wp-content/uploads/2021/08/cebds.org-mercado-de-carbono-marco-regulatorio-mercado-carbono-marco-regulatorio-sem-olhos.pdf>. Acesso em: 29 mai. 2023.

DAVID, R. M.; ROSSER, N. J.; DONOGHUE, D. N. M. Improving above ground biomass estimates of Southern Africa dryland forests by combining Sentinel-1 SAR and Sentinel-2 multispectral imagery. *Remote Sensing of Environment*, v. 282, p. 113232, dez. 2022.

DE SOUZA, A. R. P. O que há em comum entre o PSA, os créditos de carbono, a CPR verde e afins? *AgroANALYSIS*, v. 42, n. 12, p. 20-21, 2022.

DEWAR, R. C.; CANNELL, M. G. R. Carbon sequestration in the trees, products and soils of forest plantations: an analysis using UK examples. *Tree Physiology*, v. 11, n. 1, p. 49–71, 1 jul. 1992.

DIAZ, M. del C. V. et al. O preço oculto do fogo: os custos econômicos associados às queimadas e incêndios florestais. Belém: IPAM: IPEA: WHRC, 2002. 43 p.

EARTH ENGINE DATA CATALOG. WHRC Pantropical National Level Carbon Stock Dataset. Disponível em: https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/WHRC_biomass_tropical#description. Acesso em: 07 mai. 2023.

EMBRAPA. Satélites de Monitoramento. SENTINEL – Missão Sentinel. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/sentinel>. Acesso em: 29 mai. 2023.

ESTADÃO. Agro Estadão. Grupo brasileiro emite R\$ 1,2 bilhão em CPR Verde após comprar área na Amazônia. Com o registro na B3, grupo poderá vender CPR Verde para empresas que precisam compensar a emissão de carbono. 10 abr. 2024. Disponível em: <https://agro.estadao.com.br/sustentabilidade/grupo-brasileiro-emite-r-12-bilhao-em-cpr-verde-apos-comprar-area-na-amazonia>. Acesso em: 05 jun. 2024.

FACE – Forest Absorbing Carbon Dioxide Emission. Annual Report 1993. Arnheim, Netherlands: 1994.

FALKOWSKI, M. J. et al. Supporting large-area, sample-based forest inventories with very high spatial resolution satellite imagery. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, v. 33, n. 3, p. 403–423, 27 jun. 2009.

FEARNSIDE, P. M. Amazonian deforestation and global warming: carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon forest. *Forest Ecology and Management*, v. 80, n. 1–3, p. 21–34, jan. 1996.

FEARNSIDE, P. M. Fogo e emissão de gases de efeito estufa dos ecossistemas florestais da Amazônia brasileira. *Estudos Avançados*, v. 16, n. 44, p. 99–123, abr. 2002.

FEARNSIDE, P. M. Wood density for estimating forest biomass in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management*, v. 90, n. 1, p. 59–87, jan. 1997.

FEARNSIDE, P. M.; LEAL, N.; FERNANDES, F. M. Rainforest burning and the global carbon budget: Biomass, combustion efficiency, and charcoal formation in the Brazilian Amazon. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, v. 98, n. D9, p. 16733–16743, 20 set. 1993.

FERRANTE, L.; FEARNSIDE, P. M. BR-319: O caminho para o desmatamento da Amazônia. *Amazônia Real*, v. 7, 2020.

FERREIRA, A. B. Modelagem da biomassa e dinâmica do carbono em áreas de concessão florestal no sudeste da Amazônia brasileira. Brasília, 2019. 76 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília.

FITTIPALDY, M. C. P. DE M.; CASTELO, C. E. F. HÁ BOI PASTANDO: UM RETRATO DA RESEX CHICO MENDES NO ESTADO DO ACRE. *UÁQUIRI - Revista do Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade Federal do Acre*, v. 5, n. 2, p. 48–68, 2023.

FÓRUM EMPRESARIAL DE INOVAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DO ACRE. FIEAC. Boletim de Conjuntura Econômica N.º 8 - Manejo Florestal Madeireiro no Acre. Fevereiro 2024. Disponível em: <https://forumdoacre.org.br/wp-content/uploads/2024/02/Boletim-8-2a-parte.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2024.

FUNAI. Fundação Nacional dos Povos Indígenas. Geoprocessamento e Mapas. Terras Indígenas Tradicionalmente Ocupadas – Homologadas - Shapefiles. Atualizado em 25 jan. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/funai/pt-br/atuacao/terras-indigenas/geoprocessamento-e-mapas>. Acesso em: 28 abr. 2023.

FUNAI. Fundação Nacional dos Povos Indígenas. Posicionamento da Funai sobre créditos de carbono em terras indígenas. Nota Oficial sobre Créditos de Carbono em Terras Indígenas. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/funai/pt-br/assuntos/noticias/2024/posicionamento-da-funai-sobre-creditos-de-carbono-em-terras-indigenas>. Acesso em: 22 jul. 2024.

GATTI, L. V. et al. Amazonia as a carbon source linked to deforestation and climate change. *Nature*, v. 595, n. 7867, p. 388–393, 15 jul. 2021.

GEORGOPOULOS, N. et al. Total Stem Biomass Estimation Using Sentinel-1 and -2 Data in a Dense Coniferous Forest of Complex Structure and Terrain. *Forests*, v. 13, n. 12, p. 2157, 16 dez. 2022.

GHG PROTOCOL. Metodologia GHG Protocol para Agricultura. São Paulo: Unicamp; WRI Brasil, 2014. Disponível em: <www.ghgprotocol.org/Agriculture-Guidance/Visão-Geral%3A-Projeto-Brasil-Agropecuária>.

GIONGO, V. et al. Carbono no sistema solo-planta no Semiárido brasileiro. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, v. 4, n. 6, p. 1233-1253, 2011.

GLASS, V. Fundação Rosa Luxemburgo – Brasil e Paraguai. AMACRO: A violência do agro na Amazônia. Derrubada da floresta, queimadas, grilagem de terras e conflitos fundiários: esta é a realidade da AMACRO, uma região encravada nas divisas dos estados do Acre, Amazonas e Rondônia. 2023. Disponível em: <https://rosalux.org.br/amacro-ofensiva-do-agro-sobre-territorios-indigenas-e-tradicionais/>. Acesso em: 22 jul. 2024.

GORELICK, N. et al. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, v. 202, p. 18–27, dez. 2017.

HIGA, R. C. V. et al. Estoque de biomassa em florestas plantadas, sistemas agroflorestais, florestas secundárias e caatinga. In: LIMA, M. A. et al. (Eds.). *Estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira*. Brasília, DF: Embrapa, 2012. p. 105-158.

HIGA, R. C. V. et al. *Protocolo de medição e estimativa de biomassa e carbono florestal*. Colombo: Embrapa Florestas, 2014. 72 p.

HIGUCHI, Francisco Gasparetto. *Dinâmica de volume e biomassa da floresta de terra firme do Amazonas*. Curitiba, 2015.

HIGUCHI, N. et al. Biomassa da parte aérea da vegetação da Floresta Tropical úmida de terra-firme da Amazônia Brasileira. *Acta Amazonica*, v. 28, n. 2, p. 153–153, jun. 1998.

HIGUCHI, N. et al. *Dinâmica e balanço do carbono da vegetação primária da Amazônia Central*. Floresta, Curitiba, v. 34, n. 3, p. 295-304, set./dez. 2004.

HIGUCHI, N. et al. Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia. In: SEMINÁRIO EMISSÃO x SEQÜESTRO DE CO₂ – UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: CVRD, 1994. p. 125-145.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Amazônia Legal. Limites da Amazônia Legal – Shapefiles. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15819-amazonia-legal.html?=&t=acesso-ao-produto>. Acesso em: 28 abr. 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Brasileiro de 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://censO,222.ibge.gov.br/panorama/>. Acesso em: 07 jun. 2024.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Malha Municipal – Brasil. Shapefiles, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/todos-os-produtos-geociencias/15774-malhas.html?=&t=downloads>. Acesso em: 28 abr. 2023.

ICMBio. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Amazônia. Publicado em 05 jan. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/amazonia#:~:text=S%C3%A3o%20cerca%20de%2040%20mil,de%20florestas%20densas%20e%20abertas>. Acesso em: 28 abr. 2023.

ICMBio. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Dados geoespaciais de referência da Cartografia Nacional e dados temáticos produzidos no ICMBio. Dados geoespaciais produzidos no ICMBio. Limites das Unidades de Conservação Federais. Unidades de Conservação Federais - shp - Atualizado em 20 mar. 2023, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/dados_geoespaciais/mapa-tematico-e-dados-geostatisticos-das-unidades-de-conservacao-federais. Acesso em: 28 abr. 2023.

IMAZON. Boletim de Preços de Madeira na Amazônia. Nº 10, jul. 2010. Disponível em: https://imazon.org.br/PDFimazon/Portugues/precos%20da%20madeira/Precos_10.pdf. Acesso em: 08 jul. 2024.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Divisão de Geração de Imagens. Coordenação-Geral de Observação da Terra. LANDSAT. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/landsat>. Acesso em: 29 mai. 2023.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Divisão de Sensoriamento Remoto. Coordenação-Geral de Observação da Terra. LIDAR. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/DSR/areas-de-atuacao/sensores-plataformas/lidar>. Acesso em: 11 jul. 2024.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Perguntas Frequentes. 2.7. MONITORAMENTO DO TERRITÓRIO: MUDANÇAS CLIMÁTICAS. Atualizado em 2023. Disponível em: <http://www.inpe.br/faq/index.php?pai=9>. Acesso em: 29 mai. 2023.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability. [s.l.] Cambridge University Press, 2023.

IPAM. Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia. Mercado de Carbono é importante, mas é preciso considerar as florestas. 13 nov. 2023. Disponível em: <https://ipam.org.br/mercado-de-carbono-e-importante-mas-e-preciso-considerar-as-florestas/>. Acesso em: 04 dez. 2023.

IPAM. Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia. O que é e como funciona o mercado de carbono? Disponível em: <https://ipam.org.br/cartilhas-ipam/o-que-e-e-como-funciona-o-mercado-de-carbono/>. Acesso em: 04 dez. 2023.

IPAM. Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia. O que é e como funciona o mercado de carbono? Disponível em: <https://ipam.org.br/cartilhas-ipam/o-que-e-e-como-funciona-o-mercado-de-carbono/>. Acesso em: 30 mai. 2023.

JENSEN, J. R. Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective. 2. ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2007.

KANDA, J. Y.; CARVALHO, A. C. P. de L. F. de. Previsão do preço do carbono por modelos de aprendizado de máquina. Revista Amazônia, Organizações e Sustentabilidade - AOS, v. 12, n. 2, p. 158-176, 2023.

KIM, S.-K. et al. Widespread irreversible changes in surface temperature and precipitation in response to CO₂ forcing. Nature Climate Change, v. 12, n. 9, p. 834–840, 1 set. 2022.

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

LEMOS, A. L. F.; VITAL, M. H. F.; PINTO, M. A. C. As florestas e o painel de mudanças climáticas da ONU. *BNDES Setorial*, v. 32, p. 153-192, 2010. Disponível em: <http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/4014>.

LEVINE, M. Coluna The SEC Wants To See More Phones Also timber engineering, shadow ETF trading and Archegos leftovers. *Bloomberg - Opinion*, 2 fev. 2023. Disponível em: <https://www.bloomberg.com/opinion/articles/2023-02-02/the-sec-wants-to-see-more-phones#xj4y7vzkg>. Acesso em: 29 mai. 2023.

LI, L. et al. Reduction in Uncertainty in Forest Aboveground Biomass Estimation Using Sentinel-2 Images: A Case Study of Pinus densata Forests in Shangri-La City, China. *Remote Sensing*, v. 15, n. 3, p. 559, 17 jan. 2023.

LIMA, D. M.; POZZOBON, J. Amazônia socioambiental: Sustentabilidade ecológica e diversidade social. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 19, n. 54, p. 45-76, ago. 2005.

LÓPEZ CARACENA, S. E. A oferta do serviço ecossistêmico de regulação climática em florestas tropicais: o estado da arte e as implicações da conversão da floresta em campo antrópico. São Paulo, 2019. 73 f. Orientadora: Rozely Ferreira dos Santos.

MANZATO, C. L. Estimativa de biomassa e estoque de carbono na cultura do eucalipto por meio de sensoriamento remoto. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade do Sagrado Coração, Bauru, SP, 2018.

MAPA. Ministério da Agricultura e Pecuária. O que é Concessão Florestal? Publicado em 26 ago. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/servico-florestal-brasileiro/concessao-florestal/o-que-e-concessao-florestal#:~:text=A%20concess%C3%A3o%20florestal%20permite%20ao,de%20oferecer%20servi%C3%A7os%20de%20turismo>. Acesso em: 29 mai. 2023.

MAPA. Ministério da Agricultura e Pecuária. O que é Concessão Florestal?. Publicado em 26 de agosto de 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/servico-florestal-brasileiro/concessao-florestal/o-que-e-concessao-florestal#:~:text=A%20concess%C3%A3o%20florestal%20permite%20ao,de%20oferecer%20servi%C3%A7os%20de%20turismo>. Acesso em: 29 mai. 2023.

MAPA. Ministério da Agricultura e Pecuária. Sustentabilidade. CPR Verde: título irá recompensar o produtor pela preservação ambiental. Atualizado em 01 nov. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/cpr-verde-titulo-ira-recompensar-o-produtor-pela-preservacao-ambiental>. Acesso em: 13 nov. 2023.

MAPA. Ministério da Agricultura e Pecuária. Sustentabilidade. CPR Verde: título irá recompensar o produtor pela preservação ambiental. Atualizado em 01 de novembro de 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/cpr-verde-titulo-ira-recompensar-o-produtor-pela-preservacao-ambiental>. Acesso em: 13 nov. 2023.

MAPBIOMAS. Annual mapping of soil organic carbon stock in Brazil 1985-2021 (beta collection). Algorithm theoretical basis document and results. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.58053/MapBiomias/3KXXVV>. Acesso em: 01 nov. 2023.

MAPBIOMAS. Coleções MapBiomias. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/>. Acesso em: 05 jun. 2024.

MAPBIOMAS. Mapeamento anual do estoque de carbono orgânico do solo no Brasil 1985-2021 (coleção beta). 2023. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/metodo-mapbiomas-solo/>. Acesso em: 01 nov. 2023.

MAPBIOMAS. Mapeamento inédito indica que Brasil estoca no solo o equivalente a 70 anos das emissões de CO₂ do país. Disponível em: [https://mapbiomas.org/mapeamento-inedito-indica-que-brasil-estoca-no-solo-o-equivalente-a-70-anos-das-emissoes-de-CO₂-do-pais](https://mapbiomas.org/mapeamento-inedito-indica-que-brasil-estoca-no-solo-o-equivalente-a-70-anos-das-emissoes-de-CO2-do-pais). Acesso em: 26 jun. 2023.

MAPBIOMAS. RAD2023: Relatório Anual do Desmatamento no Brasil 2023. São Paulo, Brasil: MapBiomias, 2024. 154 p. Disponível em: <http://alerta.mapbiomas.org>.

MAPBIOMAS. Relatório anual de desmatamento 2022. São Paulo: MapBiomias, 2023. 125 p. Disponível em: <http://alerta.mapbiomas.org>. Acesso em: 01 nov. 2023.

MAPBIOMAS. Relatório Anual de Desmatamento 2023. Disponível em: <http://alerta.mapbiomas.org/relatorio-anual-de-desmatamento-2023>. Acesso em: 01 nov. 2023.

MARENGO, J. A.; ESPINOZA, J. C. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. *International Journal of Climatology*, v. 36, p. 1033–1050, 2016.

MARTINS, F. S. R. V. et al. Análise de ferramentas de SIG para estimativa de biomassa potencial: um estudo de caso em região de contato floresta/savana, Roraima. 2011.

MATRICARDI, E. A. T. et al. Long-term forest degradation surpasses deforestation in the Brazilian Amazon. *Science*, v. 369, n. 6509, p. 1378–1382, 11 set. 2020.

MCTI. Fourth national communication of Brazil to the United Nations framework convention on climate change. Brasília: MCTI, 2020. Disponível em: https://antigo.mctic.gov.br/mctic/export/sites/institucional/arquivos/SIRENE/Comunicacoes-Nacionais-do-Brasil-a-UNFCCC/2020_12_22_4CN_v5_Ingles.pdf. Acesso em: 15 mai. 2024.

MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DO PARÁ. Nota Técnica nº. 02/2023: Limites e condições para a realização de projetos incidentes em terras públicas e territórios tradicionais. 2023. Disponível em: <https://www.mpf.mp.br/pa/sala-de-imprensa/documentos/2023/mercado-carbono-direitos-comunidades-nota-tecnica-mpf-mppa>. Acesso em: 22 jul. 2024.

MMA. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. Amazônia. Publicado em 28 de dezembro de 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade-e-ecossistemas/ecossistemas/biomas/amazonia>. Acesso em: 28 abr. 2023.

MMA. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. Plano de Áreas Protegidas. Publicado em 13 de novembro de 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/ecossistemas-1/conservacao-1/areas-prioritarias/plano-de-areas-protegidas>. Acesso em: 28 abr. 2023.

MMA. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. Plano de Manejo. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/areas-protegidas/unidades-de-conservacao/plano-de-manejo.html>. Acesso em: 16 nov. 2023.

MORTON, D. C. et al. Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 103, n. 39, p. 14637–14641, 26 set. 2006.

NASA. Earth Data. Open Access for Open Science. What is remote sensing? Tutorial on remotely-sensed data, from sensor characteristics, to different types of resolution, to data processing and analysis. Disponível em: <https://www.earthdata.nasa.gov/learn/backgrounders/remote-sensing>. Acesso em: 09 nov. 2023.

NASCIMENTO, H. E. M. Biomassa total acima do solo e a fragmentação de floresta de terra firme na Amazônia Central. Manaus: INPA, 2002. 98 p. Disponível em: <https://repositorio.inpa.gov.br/handle/1/12285>. Acesso em: 16 jul. 2024.

NOAA. National Oceanic and Atmospheric Administration. What is lidar? National Ocean Service website. 20 jan. 2023. Disponível em: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/lidar.html#:~:text=Lidar%20E2%80%94%20Light%20Detection%20and%20Ranging,Lighthouse%2C%20Dry%20Tortugas%2C%20Florida..> Acesso em: 06 jun. 2024.

NOGUEIRA, E. M. et al. Wood density in forests of Brazil's 'arc of deforestation': Implications for biomass and flux of carbon from land-use change in Amazonia. *Forest Ecology and Management*, v. 248, n. 3, p. 119–135, set. 2007.

NOGUEIRA, S. F. et al. Estimativa do estoque de carbono em sistema de produção de soja e pastagem na região norte mato-grossense. 2010.

O ECO. Unidades de conservação estocam 28 anos de emissões nacionais de dióxido de carbono. 22 de novembro de 2023. Disponível em: <https://oeco.org.br/reportagens/unidades-de-conservacao-estocam-28-anos-de-emissoes-nacionais-de-dioxido-de-carbono/>. Acesso em: 04 dez. 2023.

OLIVEIRA BATISTA, F. R.; PORRO, R.; DE SANT'ANA QUARESMA, E. Valoração da distribuição e destruição de ativos biológicos: abordagem da contabilidade ambiental aplicada a um assentamento em conflito na Amazônia brasileira. *Estudos Sociedade e Agricultura*, v. 29, n. 1, p. 166–196, 1 fev. 2021.

OLIVEIRA JUNIOR, G. G. DE et al. Balanço do dióxido de carbono equivalente em lavouras cafeeiras. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 7, p. e25311729966, 22 maio 2022.

OMAR, H.; MISMAN, M. A. Time-series maps of aboveground biomass in dipterocarps forests of Malaysia from PALSAR and PALSAR-2 polarimetric data. *Carbon Balance and Management*, v. 13, n. 1, p. 19, 19 dez. 2018.

ONU. Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. 15 set. 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustent%C3%A1vel>. Acesso em: 15 jul. 2024.

ONU. The Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/>. Acesso em: 16 nov. 2023.

PARKER, C.; MITCHELL, A.; TRIVEDI, M.; MARDAS, N. *The little REDD+ book*. Oxford: Global Canopy Programme, 2009.

PEREIRA, L. et al. Multifrequency and Full-Polarimetric SAR Assessment for Estimating Above Ground Biomass and Leaf Area Index in the Amazon Várzea Wetlands. *Remote Sensing*, v. 10, n. 9, p. 1355, 25 ago. 2018.

PEREIRA, M. M.; SIENA, O. Manejo florestal e geração de crédito de carbono na amazônia brasileira. *CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES*, v. 17, n. 8, p. e9605, 20 ago. 2024.

PIVA, L. R. DE O. et al. Estoques de biomassa e carbono na Amazônia brasileira: uma nova abordagem. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 14, n. Supl. 2, p. 1–20, 1 dez. 2021.

PONTES, F. Fronteiras da devastação. 2024. Disponível em: <https://ovaradouro.com.br/fronteiras-da-devastacao/>. Acesso em: 22 jul. 2024.

PULROLNIK, K. *Transformações do carbono no solo*. Viçosa: UFV, 2009. 230 p.

QUARTAROLI, C. F.; VICENTE, L. E.; ARAUJO, L. S. DE. Sensoriamento remoto. In: TÔSTO, S. G.; RODRIGUES, C. A. G.; BOLFE, E. L.; BATISTELLA, M. (Ed.). *Geotecnologias e geoinformação*. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 61-79. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/988056>. Acesso em: 11 jul. 2024.

QURESHI, A. et al. A review of protocols used for assessment of carbon stock in forested landscapes. *Environmental Science & Policy*, v. 16, p. 81–89, fev. 2012.

RAISG. Amazônia Sob Pressão. 2020. 68 p. Disponível em: <www.amazoniasocioambiental.org>. Acesso em: 05 jun. 2024.

REES, W. G. *Physical Principles of Remote Sensing*. [s.l.] Cambridge University Press, 2012.

SAATCHI, S. S. et al. Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 108, n. 24, p. 9899–9904, 14 jun. 2011.

SAATCHI, S. S. et al. Distribution of aboveground live biomass in the Amazon basin. *Global Change Biology*, v. 13, n. 4, p. 816–837, 24 abr. 2007.

SALES, M. H. et al. Improving spatial distribution estimation of forest biomass with geostatistics: A case study for Rondônia, Brazil. *Ecological Modelling*, v. 205, n. 1–2, p. 221–230, jul. 2007.

SANQUETTA, C. R. et al. ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO EM PASTAGENS CULTIVADAS NO NORTE DE RONDÔNIA. *BIOFIX Scientific Journal*, v. 5, n. 1, p. 102, 2 out. 2019.

SANSOLO, D. G. Unidade de conservação, rodovia e território: uma análise da relação entre BR 319 e a Reserva de Desenvolvimento Sustentável Igapó Açú, Amazonas, Brasil. *Sociedade & Natureza*, v. 32, p. 210–224, 2 abr. 2020.

SANSOLO, D. G. Unidade de conservação, rodovia e território: uma análise da relação entre BR 319 e a Reserva de Desenvolvimento Sustentável Igapó Açú, Amazonas, Brasil. *Sociedade & Natureza*, v. 32, p. 197-210, 2022. DOI: <https://doi.org/10.14393/SN-v32-2020-46996>.

SANTANA, A. C. de; SANTOS, M. A. S. dos; OLIVEIRA, C. M. de. Preço da madeira em pé, valor econômico e mercado de madeira nos contratos de transição do Estado do Pará. Belém: UFRA/IDEFLOR/FUNPEA, 2010. 114 p. Disponível em: <http://repositorio.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/791>. Acesso em: 07 jul. 2024.

SANTOS, B. et al. Dinâmica do desmatamento na região AMACRO com o sistema de alerta de desmatamento (SAD). In: ANAIS DO XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2023, Florianópolis. Anais eletrônicos... São José dos Campos: INPE, 2023. Disponível em: <https://proceedings.science/sbsr-2023/trabalhos/dinamica-do-desmatamento-na-regiao-amacro-com-o-sistema-de-alerta-de-desmatament?lang=pt-br>. Acesso em: 01 out. 2024.

SILVA JUNIOR, C. H. L. et al. The Brazilian Amazon deforestation rate in 2020 is the greatest of the decade. *Nature Ecology & Evolution*, v. 5, n. 2, p. 144–145, 21 dez. 2020.

SILVA, B. C. da; MARINHO, R. R.; SANTOS, S. N. dos. A geografia amazônica em múltiplas escalas. v. 2. Embu das Artes: Alexa Cultural; Manaus: Edua, 2022.

SILVA, B. S. da. Mercado de carbono no Brasil: uma abordagem sistêmica para integração de políticas. 2022. 259 p. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) — Universidade de Brasília, Brasília.

SILVA, J. L. Danos florestais e estimativa da redução no estoque de carbono em áreas de manejo florestal sob concessão pública: Floresta Nacional do Jamari – RO, Brasil. Manaus, 2014. 113 p.

SISTEMA DE CONTAS ECONÔMICAS AMBIENTAIS. Marco Central 2012. Santiago do Chile: Nações Unidas, 2016. 140 p. Disponível em: <https://www.cepal.org/pt-br/publicacoes/40850-sistema-contas-economicas-ambientais-2012-marco-central>. Acesso em: 08 jun. 2024.

SNIF. SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. Sistema Nacional de Informações Florestais – SNIF. Estoque das Florestas - Carbono - Tabelas e Gráficos. 03 abr. 2020. Disponível em: <https://snif.florestal.gov.br/pt-br/component/content/article/162-florestas-e-recursos-florestais/dados-complementares-estoques-das-florestas/626-estoque-das-florestas-carbono-tabelas-e-graficos?Itemid=>. Acesso em: 05 jun. 2024.

SOARES, C. P. B.; OLIVEIRA, M. L. R. DE. Equações para estimar a quantidade de carbono na parte aérea de árvores de eucalipto em Viçosa, Minas Gerais. *Revista Árvore*, v. 26, n. 5, p. 533–539, out. 2002.

SOARES-FILHO, B.; DAVIS, J. L.; RAJÃO, R. Pavimentação da BR-319, a Rodovia do Desmatamento. Centro de Sensoriamento Remoto, Laboratório de Gestão de Serviços Ambientais, UFMG, nov. 2020.

SOUZA, C. R. de. Dinâmica de carbono em floresta explorada e em floresta nativa não explorada na Amazônia. Manaus, 2012. [s.n.].

SWIFT, M. J.; HEAL, O. W.; ANDERSON, J. M. Decomposition in terrestrial ecosystem. Oxford: Blackwell, 1979. 377 p. (Studies in Ecology, 5).

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. p. 184-188.

TRANCOSO, R. Changing Amazon deforestation patterns: urgent need to restore command and control policies and market interventions. Environmental Research Letters, v. 16, n. 4, p. 041004, 1 abr. 2021.

TRUMBORE, S.; CAMARGO, P. B. de. Dinâmica do carbono do solo. In: Amazonia and Global Change, 2009. p. 451-462. Disponível em: https://daac.ornl.gov/LBA/lbaconferencia/amazonia_global_change/27_Dinamica_do_Carbono.pdf. Acesso em: 26 jun. 2023.

UNFCCC. United Nations Climate Change. Federative Republic of Brazil. Paris Agreement. Nationally Determined Contribution (NDC). Brasília, 21 mar. 2022. Disponível em: <https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/Updated%20-%20First%20NDC%20-%20FINAL%20-%20PDF.pdf>. Acesso em: 01 mai. 2023.

VERRA. VM0015 methodology for avoided unplanned deforestation (v1.2). Disponível em: <https://verra.org>. Acesso em: 23 de set. de 2024.

WAGNER, G. H.; WOLF, D. C. Carbon transformations and soil organic matter formation. In: SYLVIA, D. M.; FUHRMANN, J. J.; HARTEL, P. G.; ZUBERER, D. A. Principles and applications of soil microbiology. New Jersey: Prentice Hall, 1999. p. 218-256.

WATZLAWICK, L. F.; KIRCHNER, F. F.; SANQUETTA, C. R. Estimativa de biomassa e carbono em floresta com araucaria utilizando imagens do satélite Ikonos II. Ciência Florestal, v. 19, n. 2, p. 169–181, 30 jun. 2009.

WILKES, P. et al. Estimating urban above ground biomass with multi-scale LiDAR. Carbon Balance and Management, v. 13, n. 1, p. 10, 26 dez. 2018.

WOODS, W. I. Development of anthroposol research. In: LEHMANN, J. et al. (Ed.). Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, Management. Dordrecht: Springer, 2003. p. 3-14.

WULDER, M. A. et al. The global Landsat archive: Status, consolidation, and direction. Remote Sensing of Environment, v. 185, p. 271–283, nov. 2016.

XAVIER, C. E. B. Estimativa da biomassa vegetal e carbono da área do Parque Estadual do Cocó. 2022.

YANG, Y. et al. Post-drought decline of the Amazon carbon sink. Nature Communications, v. 9, n. 1, p. 3172, 9 ago. 2018.

APÊNDICE

APÊNDICE I - Estimativa dos valores que podem ter sido gerados nos mercados de madeira em tora e da agropecuária, com a AGB subtraída em cada TI da AMACRO entre 2010 e 2022.

	Madeira em Tora	Agropecuária
	Valor Médio	Valor Médio
REFERÊNCIA	FIEAC (2024)	Alves e Diniz (2020)
VALOR MÉDIO	US\$ 37,87/m³	US\$ 589,27/ha
TERRITÓRIO	TOTAL	TOTAL
Acimã	US\$ 0,00	US\$ 0,00
Alto Sepatini	US\$ 0,00	US\$ 0,00
Apurinã km 124 BR-317	US\$ 6.040.792,88	US\$ 456.048,76
Boca do Acre	US\$ 4.066.313,47	US\$ 325.022,85
Caititu	US\$ 2.981.590,87	US\$ 172.390,36
Camicua	US\$ 594.929,14	US\$ 31.023,33
Deni	US\$ 2.992.103,79	US\$ 137.034,16
Diahui	US\$ 185.040,86	US\$ 14.731,75
Hi Merimã	US\$ 0,00	US\$ 0,00
Igarapé Capana	US\$ 2.373,80	US\$ 4.968,35
Igarapé Lage	US\$ 9.042.870,51	US\$ 635.429,48
Igarapé Ribeirão	US\$ 3.787.717,74	US\$ 170.888,30
Inauini/Teuini	US\$ 0,00	US\$ 0,00
Ipixuna	US\$ 3.145.694,66	US\$ 235.708,00
Jacareúba/Katauixi	US\$ 974.575,56	US\$ 57.251,62
Jarawara/Jamamadi/Kanamati	US\$ 273.851,98	US\$ 4.968,35
Karipuna	US\$ 60.448.650,15	US\$ 3.351.444,24
Karitiana	US\$ 4.208.309,37	US\$ 306.709,26
Kaxarari	US\$ 8.546.463,85	US\$ 546.114,64
Nove de Janeiro	US\$ 553.990,37	US\$ 62.797,70
Paumari do Lago Marahã	US\$ 3.965.143,56	US\$ 235.708,00
Paumari do Rio Ituxi	US\$ 225.395,52	US\$ 14.731,75
Pirahã	US\$ 10.265.830,81	US\$ 662.928,75
São Pedro do Sepatini	US\$ 0,00	US\$ 0,00
Seruini Mariene	US\$ 618.115,22	US\$ 29.463,50
Tenharim Marmelos	US\$ 3.054.143,05	US\$ 179.322,95
Tenharim Marmelos Gleba B	US\$ 15.586.126,14	US\$ 1.108.405,32
Torá	US\$ 636.816,16	US\$ 44.195,25
Tumiã	US\$ 0,00	US\$ 0,00
Uru Eu Wau Wau	US\$ 94.934.091,10	US\$ 7.329.074,51

APÊNDICE II - Estimativa dos valores que podem ter sido gerados nos mercados de madeira em tora e da agropecuária, com a AGB subtraída em cada TI da AMACRO entre 2010 e 2022.

	Madeira em Pé	Mercado de Carbono Voluntário	CPR Verde
REFERÊNCIA	Batista et al. (2021)	Ecosystem Marketplace (2022)	Projeto Green Guardians (2024)
VALOR MÉDIO	US\$ 13,33/m ³	US\$ 10,14/t	US\$ 25,28/t
TERRITÓRIO	TOTAL	TOTAL	TOTAL
Acimã	US\$ 0,00	US\$ 1.032.588,09	US\$ 2.574.341,91
Alto Sepatini	US\$ 0,00	US\$ 295.725,66	US\$ 737.272,66
Apurinã km 124 BR-317	US\$ 2.126.320,81	US\$ 3.689.906,16	US\$ 9.199.292,68
Boca do Acre	US\$ 1.431.316,57	US\$ 2.496.133,93	US\$ 6.223.103,13
Caititu	US\$ 1.049.501,09	US\$ 156.923,98	US\$ 391.226,66
Camicua	US\$ 209.411,29	US\$ 814.522,44	US\$ 2.030.683,17
Deni	US\$ 1.053.201,57	US\$ 1.629.087,51	US\$ 4.061.472,60
Diahui	US\$ 65.133,21	US\$ 56.932,67	US\$ 141.938,66
Hi Merimã	US\$ 0,00	US\$ 25.544.048,50	US\$ 63.683.781,67
Igarapé Capana	US\$ 835,56	US\$ 1.288.546,65	US\$ 3.212.471,33
Igarapé Lage	US\$ 3.183.033,11	US\$ 4.782.837,96	US\$ 11.924.077,28
Igarapé Ribeirão	US\$ 1.333.252,64	US\$ 2.071.293,26	US\$ 5.163.934,27
Inauini/Teuini	US\$ 0,00	US\$ 4.983.208,75	US\$ 12.423.621,02
Ipixuna	US\$ 1.107.264,58	US\$ 331.594,31	US\$ 826.696,67
Jacareúba/Katauixi	US\$ 343.044,42	US\$ 3.909.309,70	US\$ 9.746.286,91
Jarawara/Jamamadi/Kanamati	US\$ 96.394,16	US\$ 14.030.162,04	US\$ 34.978.549,93
Karipuna	US\$ 21.277.541,76	US\$ 35.750.499,70	US\$ 89.129.450,93
Karitiana	US\$ 1.481.298,23	US\$ 3.084.763,04	US\$ 7.690.612,38
Kaxarari	US\$ 3.008.301,11	US\$ 5.607.974,36	US\$ 13.981.222,06
Nove de Janeiro	US\$ 195.001,10	US\$ 3.298.243,80	US\$ 8.222.840,57
Paumari do Lago Maranhã	US\$ 1.395.705,41	US\$ 1.056.673,34	US\$ 2.634.388,77
Paumari do Rio Ituxi	US\$ 79.337,79	US\$ 47.637,55	US\$ 118.765,02
Pirahã	US\$ 3.613.507,39	US\$ 2.600.002,36	US\$ 6.482.057,16
São Pedro do Sepatini	US\$ 0,00	US\$ 444.102,92	US\$ 1.107.191,51
Seruini Mariene	US\$ 217.572,64	US\$ 773.425,27	US\$ 1.928.223,94
Tenharim Marmelos	US\$ 1.075.039,00	US\$ 2.842.319,66	US\$ 7.086.177,61
Tenharim Marmelos Gleba B	US\$ 5.486.217,62	US\$ 5.059.134,61	US\$ 12.612.911,53
Torá	US\$ 224.155,25	US\$ 108.500,94	US\$ 270.503,34
Tumiã	US\$ 0,00	US\$ 21.543,87	US\$ 53.710,95
Uru Eu Wau Wau	US\$ 3.416.198,42	US\$ 65.840.624,29	US\$ 164.147.039,66

As Terras Indígenas destacadas em verde são onde foram observados pouco ou nenhum desmatamento entre 2010 e 2022.

APÊNDICE III - Estimativa dos valores que podem ter sido gerados nos mercados de madeira em tora e da agropecuária, com a AGB subtraída em cada UC da AMACRO entre 2010 e 2022.

	Madeira em Tora	Agropecuária
REFERÊNCIA	FIEAC (2024)	Alves e Diniz (2020)
VALOR MÉDIO	US\$ 37,87/m³	US\$ 589,27/ha
TERRITÓRIO	TOTAL	TOTAL
Esec Cuniã	US\$ 1.415.120,00	US\$ 89.199,30
Flona Bom Futuro	US\$ 53.938.214,76	US\$ 3.775.025,38
Flona Humaitá	US\$ 0,00	US\$ 0,00
Flona Jacundá	US\$ 3.963.286,55	US\$ 347.033,81
Flona Iquiri	US\$ 13.445.577,00	US\$ 769.343,98
Flona Jamari	US\$ 550.115,08	US\$ 60.891,23
Flona Mapiá-Inauini	US\$ 925.204,31	US\$ 44.195,25
Parna Pacáas Novos	US\$ 34.593.281,10	US\$ 2.654.950,21
Parna Campos Amazônicos	US\$ 23.665.502,70	US\$ 1.375.078,88
Parna Mapinguari	US\$ 30.834.106,89	US\$ 1.906.461,76
Parna Serra da Cutia	US\$ 2.516.752,58	US\$ 162.049,25
Resex Arapixi	US\$ 10.947.201,13	US\$ 538.546,56
Parna Barreiro das Antas	US\$ 0,00	US\$ 0,00
Resex Rio Cautário	US\$ 808.281,95	US\$ 63.548,73
Resex Chico Mendes	US\$ 472.133.415,58	US\$ 28.954.243,62
Resex Ituxi	US\$ 3.944.234,37	US\$ 212.194,97
Resex Lago do Cuniã	US\$ 1.118.629,61	US\$ 79.493,68
Resex Médio Purus	US\$ 10.424.849,90	US\$ 541.492,91
Resex Rio Ouro Preto	US\$ 21.837.122,20	US\$ 1.760.992,95

APÊNDICE IV - Estimativa dos possíveis ganhos nos mercados da madeira em pé, mercado de carbono e CPR Verde, caso fosse preservado o que se perdeu de AGB em cada UC da AMACRO entre 2010 e 2022.

	Madeira em Pé	Mercado de Carbono Voluntário	CPR Verde
REFERÊNCIA	Batista et al. (2021)	Ecosystem Marketplace (2022)	Projeto Green Guardians (2024)
VALOR MÉDIO	US\$ 13,33/m ³	US\$ 10,14/t	US\$ 25,28/t
TERRITÓRIO	TOTAL	TOTAL	TOTAL
Esec Cuniã	US\$ 498.113,27	US\$ 1.606.270,93	US\$ 4.004.588,66
Flona Bom Futuro	US\$ 18.985.909,76	US\$ 31.747.766,87	US\$ 79.150.251,12
Flona Humaitá	US\$ 0,00	US\$ 2.565.114,40	US\$ 6.395.078,11
Flona Jacundá	US\$ 1.395.051,75	US\$ 4.871.012,31	US\$ 12.143.904,45
Flona Iquiri	US\$ 4.732.757,89	US\$ 10.042.123,56	US\$ 25.035.984,59
Flona Jamari	US\$ 193.637,02	US\$ 2.388.182,36	US\$ 5.953.969,44
Flona Mapiá-Inauini	US\$ 325.666,05	US\$ 3.533.720,61	US\$ 8.809.907,00
Parna Pacáas Novos	US\$ 12.176.615,71	US\$ 23.026.722,10	US\$ 57.407.843,67
Parna Campos Amazônicos	US\$ 8.330.106,97	US\$ 14.234.038,95	US\$ 35.486.834,78
Parna Mapinguari	US\$ 10.853.410,22	US\$ 21.144.336,47	US\$ 52.714.874,36
Parna Serra da Cutia	US\$ 885.880,96	US\$ 5.430.064,70	US\$ 13.537.676,10
Resex Arapixi	US\$ 3.853.345,42	US\$ 7.574.071,37	US\$ 18.882.891,94
Parna Barreiro das Antas	US\$ 0,00	US\$ 1.094.169,63	US\$ 2.727.870,64
Resex Rio Cautário	US\$ 284.510,13	US\$ 1.419.439,17	US\$ 3.538.799,05
Resex Chico Mendes	US\$ 166.187.970,15	US\$ 276.925.207,04	US\$ 690.401.305,13
Resex Ituxi	US\$ 1.388.345,50	US\$ 4.448.730,49	US\$ 11.091.115,07
Resex Lago do Cuniã	US\$ 393.750,53	US\$ 923.179,02	US\$ 2.301.574,51
Resex Médio Purus	US\$ 3.669.481,10	US\$ 1.816.481,61	US\$ 4.528.664,21
Resex Rio Ouro Preto	US\$ 7.686.528,62	US\$ 11.463.591,60	US\$ 28.579.841,79

As Unidades de Conservação destacadas em verde são onde foram observados pouco ou nenhum desmatamento entre 2010 e 2022.

APÊNDICE V - Estimativa dos valores que poderiam ter sido gerados com a área não desmatada das TIs da AMACRO entre 2010 e 2022, a partir de uma linha de base de desmatamento, considerando projetos REDD+ no mercado de carbono voluntário e CPR Verde.

	Valor potencial em projetos REDD+ (US\$)	Valor potencial em projetos de CPR Verde (US\$)
REFERÊNCIA	Ecosystem Marketplace (2022)	Projeto <i>Green Guardians</i> (2024)
VALOR MÉDIO	US\$ 10,14/t	US\$ 25,28/t
TERRITÓRIO	TOTAL	TOTAL
Acimã	US\$ 64.977.338,92	US\$ 161.994.785,80
Alto Sepatini	US\$ 39.844.963,03	US\$ 99.337.343,72
Apurinã km 124 BR-317	US\$ 43.053.516,99	US\$ 107.336.578,85
Boca do Acre	US\$ 26.906.916,34	US\$ 67.081.542,91
Caititu	US\$ 368.924.622,24	US\$ 919.764.738,67
Camicua	US\$ 83.831.930,76	US\$ 209.001.105,47
Deni	US\$ 2.427.710.098,07	US\$ 6.052.515.905,25
Diahui	US\$ 55.777.654,54	US\$ 139.059.083,51
Hi Merimã	US\$ 1.093.604.717,33	US\$ 2.726.462.253,85
Igarapé Capana	US\$ 179.633.704,68	US\$ 447.844.186,80
Igarapé Lage	US\$ 112.281.625,91	US\$ 279.928.945,08
Igarapé Ribeirão	US\$ 51.571.617,23	US\$ 128.573.026,00
Inauini/Teuini	US\$ 689.916.231,60	US\$ 1.720.027.843,67
Ipixuna	US\$ 256.437.327,21	US\$ 639.323.040,62
Jacareúba/Katauixi	US\$ 628.441.479,71	US\$ 1.566.765.345,86
Jarawara/Jamamadi/Kanamati	US\$ 625.180.383,05	US\$ 1.558.635.116,73
Karipuna	US\$ 138.682.798,72	US\$ 345.749.620,49
Karitiana	US\$ 95.101.656,42	US\$ 237.097.620,74
Kaxarari	US\$ 186.319.257,97	US\$ 464.511.917,30
Nove de Janeiro	US\$ 263.145.328,34	US\$ 656.046.735,75
Paumari do Lago Marahã	US\$ 155.379.872,91	US\$ 387.377.040,16
Paumari do Rio Ituxi	US\$ 6.680.817,85	US\$ 16.655.924,59
Pirahã	US\$ 406.393.510,96	US\$ 1.013.178.299,52
São Pedro do Sepatini	US\$ 40.752.256,35	US\$ 101.599.313,65
Seruini Mariene	US\$ 205.896.839,82	US\$ 513.320.720,97
Tenharim Marmelos	US\$ 288.927.182,55	US\$ 720.323.390,03

Tenharim Marmelos Gleba B	US\$ 562.211.445,12	US\$ 1.401.647.468,70
Torá	US\$ 70.734.148,83	US\$ 176.347.069,28
Tumiã	US\$ 188.538.773,99	US\$ 470.045.385,25
Uru Eu Wau Wau	US\$ 1.865.714.666,32	US\$ 4.651.406.978,77

As Terras Indígenas destacadas em verde são onde foram observados pouco ou nenhum desmatamento entre 2010 e 2022.

APÊNDICE VI - Estimativa dos valores que poderiam ter sido gerados com a área não desmatada das UCs da AMACRO entre 2010 e 2022, a partir de uma linha de base de desmatamento, considerando projetos REDD+ no mercado de carbono voluntário e CPR Verde.

	Valor potencial em projetos REDD+ (US\$)	Valor potencial em projetos de CPR Verde (US\$)
REFERÊNCIA	Ecosystem Marketplace (2022)	Projeto <i>Green Guardians</i> (2024)
VALOR MÉDIO	US\$ 10,14/t	US\$ 25,28/t
TERRITÓRIO	TOTAL	TOTAL
Esec Cuniã	US\$ 180.487.731,92	US\$ 449.973.359,27
Flona Bom Futuro	US\$ 59.024.195,34	US\$ 147.153.023,50
Flona Humaitá	US\$ 534.836.590,31	US\$ 1.333.399.309,98
Flona Jacundá	US\$ 239.393.042,31	US\$ 596.829.991,09
Flona Iquiri	US\$ 2.094.275.359,11	US\$ 5.221.230.875,58
Flona Jamari	US\$ 255.226.727,63	US\$ 636.304.898,86
Flona Mapiá-Inauini	US\$ 528.568.549,32	US\$ 1.317.772.477,98
Parna Pacáas Novos	US\$ 684.759.973,50	US\$ 1.707.172.793,88
Parna Campos Amazônicos	US\$ 848.009.259,37	US\$ 2.114.169.041,12
Parna Mapinguari	US\$ 1.749.632.316,35	US\$ 4.362.002.461,27
Parna Serra da Cutia	US\$ 352.585.606,51	US\$ 879.029.993,34
Resex Arapixi	US\$ 166.042.851,00	US\$ 413.960.875,09
Parna Barreiro das Antas	US\$ 143.255.026,61	US\$ 357.148.626,50
Resex Rio Cautário	US\$ 150.711.803,84	US\$ 375.739.092,81
Resex Chico Mendes	US\$ 619.032.222,56	US\$ 1.543.307.158,43
Resex Ituxi	US\$ 968.100.352,47	US\$ 2.413.567.742,64
Resex Lago do Cuniã	US\$ 71.255.175,36	US\$ 177.646.038,78
Resex Médio Purus	US\$ 818.508.017,97	US\$ 2.040.619.595,09
Resex Rio Ouro Preto	US\$ 204.520.878,63	US\$ 509.890.316,74

As Unidades de Conservação destacadas em verde são onde foram observados pouco ou nenhum desmatamento entre 2010 e 2022.