



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

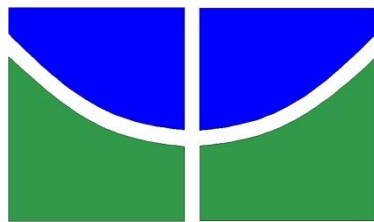
**IMPACTOS DA DINÂMICA DE USO E COBERTURA DA TERRA NO  
ESTOQUE DE CARBONO DA VEGETAÇÃO NA REGIÃO DO  
ECÓTONO CERRADO-AMAZÔNIA (1985-2020)**

**Aina de Carvalho França**

**Brasília, 09 de fevereiro de 2023**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA**



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

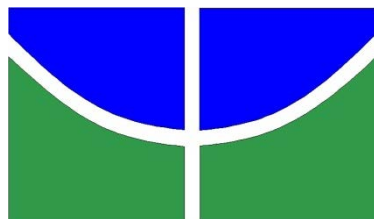
# **IMPACTOS DA DINÂMICA DE USO E COBERTURA DA TERRA NO ESTOQUE DE CARBONO DA VEGETAÇÃO NA REGIÃO DO ECÓTONO CERRADO-AMAZÔNIA (1985-2020)**

**Aina de Carvalho França**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação  
apresentado ao Departamento de Engenharia  
Florestal da Universidade de Brasília, como parte  
das exigências para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli  
Matricardi

Brasília-DF, 09 de fevereiro de 2023



**Universidade de Brasília - UnB  
Faculdade de Tecnologia - FT  
Departamento de Engenharia Florestal – EFL**

**IMPACTOS DA DINÂMICA DE USO E COBERTURA DA TERRA NO ESTOQUE  
DE CARBONO DA VEGETAÇÃO NA REGIÃO DO ECÓTONO CERRADO-  
AMAZÔNIA (1985-2020)**

Estudante: Aina de Carvalho França

Matrícula: 16/0109191

Orientador: Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi

Menção: SS

---

Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi  
Universidade de Brasília – UnB  
Departamento de Engenharia Florestal  
Orientador (EFL)

---

Prof. Dr. Reginaldo Sérgio Pereira  
Universidade de Brasília – UnB  
Membro da Banca

---

Prof. Dr. Ben Hur Marimon Júnior  
Universidade do Estado do Mato Grosso - UNEMAT  
Membro da Banca

Brasília-DF, 09 de fevereiro de 2023.

**FICHA CATALOGRÁFICA**

DE CARVALHO FRANÇA, AINA

IMPACTOS DA DINÂMICA DE USO E COBERTURA DA TERRA NO ESTOQUE DE CARBONO DA VEGETAÇÃO NA REGIÃO DO ECÓTONO CERRADO-AMAZÔNIA (1985-2020)

[Distrito Federal] 2023. 48 p., 210 x 297mm (EFL/FT/UnB, Engenheira, Engenharia Florestal, 2023).

Trabalho de conclusão de curso - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Florestal

1. Uso e Cobertura da Terra

2. Estoque de Carbono

3. Ecótono

4. Geoprocessamento

I. EFL/FT/UnB

II. Título (série)

**REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

FRANÇA, C. A. (2023). IMPACTOS DA DINÂMICA DE USO E COBERTURA DA TERRA NO ESTOQUE DE CARBONO DA VEGETAÇÃO NA REGIÃO DO ECÓTONO CERRADO-AMAZÔNIA (1985-2020).

Trabalho de conclusão de curso, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 48 p.

**CESSÃO DE DIREITOS**

AUTOR: Aina de Carvalho França 1

TÍTULO: IMPACTOS DA DINÂMICA DE USO E COBERTURA DA TERRA NO ESTOQUE DE CARBONO DA VEGETAÇÃO NA REGIÃO DO ECÓTONO CERRADO-AMAZÔNIA (1985-2020).

GRAU: Engenheira em Engenharia Florestal. ANO: 2023

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste Projeto Final de Graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desse Projeto Final de Graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Aina de Carvalho França

Depto. de Engenharia Florestal (EFL)-FT  
Universidade de Brasília (UnB)  
Campus Darcy Ribeiro  
CEP 70919-970 – Brasília – DF - Brasil

A todas as mulheres que  
lutaram e lutam por nossos  
direitos.

**Dedico.**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por seu amor imensurável, por ser o meu conforto e por sempre prover os meios para que o meu sonho seja realizado.

À minha família pela paciência em escutar os meus discursos de educação ambiental, pelos investimentos na minha carreira, por acreditar no meu potencial e ser a minha rede de apoio.

À minha vó, Marlene, pelas longas conversas sobre a vida, palavras motivacionais e por sempre deixar evidente o seu orgulho por mim.

Ao meu esposo, Matheus Brenner, que inúmeras vezes me acompanhou nas aulas nos anfiteatros e BSAS, me esperou até tarde na FT, foi comigo aos campos na FAL, me ajudou com as matérias de humanas, escutou as minhas apresentações de projetos e seminários, foi o meu ombro amigo nos ônibus 110 e BRT, entre várias outras aventuras. Obrigada por lutar, acreditar, investir e me incentivar todos os dias a continuar persistindo naquilo que faz os meus olhos brilharem. A UnB foi o palco de muitas histórias nossas, nela nós imaginamos o nosso futuro, noivamos e poucos meses antes do término desse trabalho, nós nos casamos. Você se fez presente em todos os momentos e sem você como âncora certamente a caminhada teria sido mais difícil. Saiba que esse TCC também é seu!

Ao meu orientador e amigo, Eraldo, por me ensinar pacientemente sobre SIG e pesquisa, por sua enorme empatia, compreensão, respeito e profissionalismo. Saiba que o senhor é uma das minhas principais referências de cientista.

Às minhas amigas que a UnB proporcionou: Thamires, Sofia, Ana, Amanda, Camila, Camille, Nath, Rafa, Jéssica, Laura, Michelle, Fê e tantas(os) outras(os). Sem vocês os dias de luta não teriam tanta graça. Os ônibus cheios, conversas longas, estudos/surtos com as matérias, sonequinhas no chão da FT ou ICC, lanchinhos nos intervalos, as lágrimas de desespero e o “matar aula para estudar” não teriam o mesmo sentido.

## RESUMO

### IMPACTOS DA DINÂMICA DE USO E COBERTURA DA TERRA NO ESTOQUE DE CARBONO DA VEGETAÇÃO NA REGIÃO DO ECÓTONO CERRADO-AMAZÔNIA (1985-2020)

A transição entre os biomas Cerrado e Amazônia (TCA) é considerada a maior faixa ecotonal savana-floresta do mundo (MARQUES et al., 2019). Contudo, o limite oficial desta zona estabelecido pelo IBGE superestima as áreas de Cerrado, tornando-a legalmente mais permissível para a expansão do desmatamento, corroborando com o avanço da fronteira agrícola no arco do desmatamento da Amazônia brasileira. O objetivo deste estudo foi avaliar as mudanças de uso e cobertura da terra na TCA entre 1985 a 2020 e, a partir disso, estimar os impactos sobre os estoques de carbono da biomassa aérea. Utilizou-se as bases de dados do Projeto Mapbiomas e do ORNL-DAAC (*Oak Ridge National Laboratory - Distributed Active Archive Center*), disponíveis na plataforma *Google Earth Engine*, para estimar as mudanças de uso e cobertura da terra e os impactos no estoque de carbono. Os resultados mostraram que áreas de vegetação nativa (formações florestais, savânicas e campestres) foram reduzidas em aproximadamente 23% (31,5 Mha), convertidas, em sua maioria, em pastagens e agricultura. Conseqüentemente, o estoque de carbono da vegetação nativa acima do solo foi reduzido em 22% (1.931,5 MgC) entre 1985 e 2020, sendo a agropecuária responsável pela perda de 18% (1.570,4 MgC) do estoque de carbono na área de estudo. A maior taxa de redução do estoque de carbono da vegetação nativa ocorreu no período entre 1995 e 2005, com valor igual a 10,56% (913,2 MgC). Do mesmo modo, o incremento da agropecuária foi maior neste período (1995-2005), auxiliando na manutenção de 177,2 MgC do estoque da TCA, entretanto, este mesmo grupo também foi responsável pela perda líquida de 8,5% do estoque de carbono da vegetação, representando a emissão de 736 MgC para a atmosfera. Os resultados deste estudo contribuem com o entendimento da TCA diante das mudanças climáticas globais e colaboram com a ampliação da discussão sobre o risco atual de perda de serviços ecossistêmicos prestados por esta região caso não haja tratamento administrativo, legal e político distintos e adaptados às especificidades ambientais e socioeconômicas da zona de transição.

**Palavras-Chave:** Uso e cobertura da terra; estoque de carbono; ecótono; Amazônia; Cerrado; geoprocessamento.

## ABSTRACT

### IMPACTS OF LAND USE AND COVER DYNAMICS ON THE CARBON STOCK OF VEGETATION IN THE CERRADO-AMAZON ECOTONE REGION (1985-2020)

The transition between the Cerrado and Amazon biomes (TCA) is considered the largest savanna-forest ecotonal belt in the world (MARQUES et al., 2019). However, the official limit of this zone established by IBGE overestimates the Cerrado areas, making it legally more permissible for the expansion of deforestation, corroborating with the advance of the agricultural frontier in the arc of deforestation of the Brazilian Amazon. The objective of this study was to evaluate land use and land cover changes in the TCA between 1985 and 2020 and, from this, to estimate the impacts on the carbon stocks of the above-ground biomass. The Mapbiomas Project and ORNL-DAAC (Oak Ridge National Laboratory - Distributed Active Archive Center) databases, available on the Google Earth Engine platform, were used to estimate land use and land cover changes and impacts on carbon stocks. The results showed that areas of native vegetation (forest, savanna, and grassland formations) were reduced by approximately 23% (31.5 Mha), mostly converted to pasture and agriculture. Consequently, the above ground carbon stock of native vegetation was reduced by 22% (1,931.5 MgC) between 1985 and 2020, with farming and cattle ranching being responsible for the loss of 18% (1,570.4 MgC) of the carbon stock in the study area. The greatest rate of reduction in the carbon stock of native vegetation occurred in the period between 1995 and 2005, with a value equal to 10.56% (913.2 MgC). In the same way, the increase in farming and cattle ranching was greater in this period (1995-2005), helping to maintain 177.2 MgC of the TCA stock; however, this group was also responsible for the net loss of 8.5% of the vegetation's carbon stock, representing the emission of 736 MgC into the atmosphere. The results of this study contribute to the understanding of the TCA in the face of global climate change and contribute to the broadening of the discussion about the current risk of loss of ecosystem services provided by this region if there is no distinct administrative, legal and political treatment adapted to the environmental and socioeconomic specificities of the transition zone.

**Keywords:** Land use and land cover; carbon stock; ecotone; Amazon; Cerrado; geoprocessing.



## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	14
1.1. Problema e Questão de Pesquisa.....	15
2. OBJETIVO .....	16
2.1. Objetivo geral .....	16
2.2. Objetivos específicos .....	16
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	17
3.1. Ecótono Amazônia-Cerrado .....	17
3.2. Uso e Cobertura da Terra ( <i>Land Use and Land Cover</i> – LULC) .....	18
3.3. Estoque de carbono .....	19
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	21
4.1. Caracterização da área de estudo .....	21
4.2. Base de dados .....	21
4.2.1. Projeto de Mapeamento Anual de Uso e Cobertura da Terra no Brasil ( <i>MapBiomass</i> ).....	21
4.2.2. <i>Google Earth Engine</i> .....	22
4.3. Dinâmica do uso e cobertura da terra (1985-2020).....	24
4.4. Densidade de Carbono da Biomassa Acima do Solo ( <i>AGBC density</i> ) .....	26
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	27
5.1. Análise temporal do uso e cobertura no ecótono Cerrado-Amazônia .....	27
5.2. Dinâmica do estoque de carbono da biomassa acima do solo .....	34
6. CONCLUSÃO .....	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	44

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Localização da área de estudo com a zona de 200 km definida a partir do limite oficial entre os biomas brasileiros Cerrado e Amazônia. ....	21
FIGURA 2: Distribuição espacial das classes de uso e cobertura da terra para a o ecótono Cerrado-Amazônia.....	31
FIGURA 3: Área percentual que cada grupo de uso e cobertura da terra ganhou ou perdeu durante os 35 anos analisados. Atenta-se para o aumento das atividades agropecuaristas em detrimento da redução da vegetação nativa. ....	32
FIGURA 4: Mudanças das classes de uso e cobertura da terra ne TCA entre 1985 e 2020. Formações florestais, savânicas e campestres apresentam redução das suas áreas ao longo dos anos, enquanto a áreas para o plantio de soja e atividades pecuaristas tendem a aumentar. ....	33
FIGURA 5: Impactos das mudanças de uso e cobertura da terra na densidade de carbono da biomassa acima do solo entre 1985 e 2020 na TCA.....	37
FIGURA 6: Impactos da agropecuária no estoque de carbono da vegetação nativa em intervalos específicos que contemplam o período de estudo. Nota-se que as classes de agropecuária contribuíram com o estoque de carbono do ecótono, contudo, é uma quantidade bastante reduzida quando comparada com a biomassa AGB que existia antes da conversão, enfatizando que o agronegócio e a adoção de práticas agrícolas não sustentáveis respondem por mais da metade das perdas do estoque de carbono da biomassa aérea, e por consequência aumentam as taxas de emissão na TCA. ....	40
FIGURA 7: Distribuição espacial do estoque de carbono acima do solo na TCA em 2010. ....	41

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Área ocupada pelas classes de uso e cobertura no ecótono Cerrado-Amazônia. ....	29
TABELA 2 – Estimativa média da densidade de carbono da biomassa acima do solo (AGBC) para o ano de 2010. Os valores de AGBC serviram como referência na estimativa para os anos de 1985, 1995, 2005, 2010, 2015 e 2020. A densidade de AGBC média para cada classe de LULC nos respectivos anos de análise foram obtidos através do produto entre “AGBC em 2010” e a área de uso e cobertura da terra (Mha) das classes/ano. ....	35
TABELA 3 – Densidade média de carbono AGB para as classes de LULC no ecótono Cerrado-Amazônia. Algumas classes mostraram alta variação na densidade de carbono ao realizar a diferença entre 2020 e 1985, possivelmente indicando que houve redução do estoque de carbono ou emissão de carbono. ....	36
TABELA 4 – Alteração na densidade de AGBC por grupo de uso e cobertura da terra, em MgC e porcentagem, no período de 1985 a 2020. Os grupos de uso antrópico (agropecuária e outras formações antrópicas) contribuíram com o sequestro de carbono da região, contudo, são valores extremamente reduzidos se comparado ao impacto causado no estoque da vegetação nativa. ....	38
TABELA 5 – Influência da agropecuária na redução da densidade de carbono da vegetação nativa (estoque de carbono). Nota-se que na maioria dos intervalos analisados a fração que este grupo representa na perda líquida do estoque de carbono da vegetação na TCA é superior a 80%. ....	38
TABELA 6 – Alterações na densidade de AGBC dos grupos de "vegetação" e "agropecuária" em diferentes intervalos anuais. Em todas os intervalos analisados a agropecuária foi responsável por provocar a redução dos estoques de carbono da biomassa viva acima do solo, e conseqüentemente contribuir com a emissão de carbono para a atmosfera. ....	39

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Classes de uso e cobertura da terra obtidas através da plataforma MapBiomas para a área de transição entre os biomas Cerrado e Amazônia.....	25
QUADRO 2 – Composição dos grupos estabelecidos no estudo com base na classificação de nível 1 do MapBiomas.....	26

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGB - *Aboveground Biomass*

AGBC - *Aboveground Carbon Biomass*

ATBD - *Algorithm Theoretical Basis Document*

CO<sub>2</sub> - Dióxido de Carbono

FAO - *Food and Agriculture Organization of the United Nations*

GEE - Gases do Efeito Estufa

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*

LULC - *Land use and Land Cover*

NOAA - *National Oceanic and Atmospheric Administration*

MAPBIOMAS - Projeto de Mapeamento Anual de Uso e Cobertura da Terra no Brasil

NASA - *National Aeronautics and Space Administration*

ORNL DAAC - *Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Center*

SNIF - Sistema Nacional de Informações Florestais

TCA – Transição Cerrado-Amazônia

UCs - Unidades de Conservação

USGS - *United States Geological Survey*

## 1. INTRODUÇÃO

O impacto real que o uso da terra exerce sobre as florestas tropicais, especialmente nas emissões globais de CO<sub>2</sub> (BALBINOT et al., 2012) tem sido bastante estudado nos últimos anos. Estima-se que, se as condições de aquecimento global antrópico permanecerem no mesmo ritmo, a temperatura irá aumentar até chegar em 1,5° em 2030 ou 2050. O aumento da temperatura média do planeta no período de 2006-2015 foi de 0,87°C, a mais alta já registrada. É importante ressaltar que, de forma irrefutável, essa mudança na temperatura tem origem em causas essencialmente antrópicas, e que os fatores não antropogênicos têm chances extremamente baixas de contribuição para o aumento projetado de 1,5°C de aquecimento global (IPCC, 2019).

No Brasil, a Amazônia e o Cerrado brasileiro formam uma área de dimensões praticamente continentais e de grande relevância para a regulação e segurança climática global. Do mesmo modo, a zona de transição entre os biomas Cerrado e Amazônia possui alta biodiversidade de fauna e flora e elevada capacidade de prestação de serviços ecossistêmicos, sendo considerada a maior zona de transição entre savana e floresta do mundo (COUTINHO, 2016; MARQUES et al., 2019).

Contudo, a expansão da agricultura e pecuária brasileira tem afetado diretamente as condições naturais na Amazônia e no Cerrado brasileiro, com maior efeito na zona de transição destes biomas por falta de legislação específica. Os efeitos das mudanças climáticas, a intensificação do desmatamento e a degradação florestal, aliados ao avanço de atividades agropecuárias no arco do desmatamento têm tornado cada vez mais inconsistente e irregular o limite entre o Cerrado e a Amazônia, provocando a retração das bordas da floresta (COUTINHO, 2016; MARQUES et al., 2019).

Entre 1960 e 1970 políticas públicas e programas governamentais incentivaram o avanço da agricultura e pecuária no Cerrado (GARCIA et al., 2011). O mesmo processo de ocupação ocorreu na Amazônia entre as décadas de 70 e 80 (FEARNSIDE, 2005). Cada ecossistema armazena diferentes quantidades de carbono, sendo influenciadas diretamente pelas mudanças temporais de uso e cobertura da terra que ocorrem dentro ou em áreas adjacentes e que contribuem com a capacidade da vegetação de sequestrar e emitir dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) para a atmosfera (BALBINOT et al., 2012).

A floresta amazônica provê inúmeros serviços ecossistêmicos, dentre eles a fixação e estoque de CO<sub>2</sub> e manutenção do ciclo hidrológico, ambos de extrema importância para o clima global (FEARNSIDE, 2005). O desmatamento na Amazônia influencia diretamente nas emissões de carbono, bem como a dinâmica da vegetação secundária.

As alterações do uso e cobertura da terra aumentam a fragmentação da vegetação Amazônica (PHILLIPS et al., 2009) e do Cerrado (DURIGAN, 2013), e conseqüentemente a resiliência dos ecossistemas. Processos de captura de carbono e fotossíntese são desregulados devido às perturbações, gerando efeitos negativos na TCA e contribuindo com o processo de “savanização” das florestas. (SCHEFFER et al., 2012; STAYER et al., 2011).

No presente estudo, buscou-se avaliar as mudanças no uso e cobertura da terra entre 1985 e 2020 em toda a área de transição entre os biomas Cerrado Amazônia. Complementarmente, estimou-se o impacto causado pelas mudanças no uso e cobertura da terra sobre o estoque de carbono da biomassa acima do solo. Os resultados deste estudo têm potencial para subsidiar a definição de trabalhos mais detalhados sobre os serviços ecossistêmicos e políticas públicas para conservação dos recursos naturais na região de transição Cerrado-Amazônia.

### **1.1. Problema e Questão de Pesquisa**

A literatura científica (DA SILVA JUNIOR et al., 2019; MARQUES et al., 2019; MARIMON et al., 2006; MEWS et al., 2012) enfatiza que o limite estabelecido pelo IBGE para o ecótono Cerrado-Amazônia é uma região de natureza ambiental diferenciada e não delimitada apropriadamente para fins de políticas públicas específicas. Como consequência, esta região tem sido mais afetada pelos processos de ocupação e expansão da agricultura e pecuária, seguindo uma legislação mais flexível do que realmente seria necessária para o contexto das especificidades e limitações dos recursos naturais. Portanto, monitorar e verificar as mudanças do uso e cobertura da terra em toda a transição Cerrado-Amazônia pode auxiliar a identificar os padrões dos avanços antrópicos, bem como ajudar a compreender como o desmatamento desta região pode influenciar nas mudanças climáticas globais, sobretudo no que se refere à biodiversidade ecotonal e vida humana. Além disso, por

ser considerada uma zona extremamente sensível às oscilações climáticas (MARIMON et al., 2014), a TCA atua como uma “zona de alerta”, indicando os efeitos futuros das mudanças climáticas nas áreas centrais de vegetação nativa, especialmente na região amazônica.

Com base no exposto, este estudo foi embasado nas seguintes questões de pesquisa:

- Qual a área de vegetação nativa desmatada no ecótono Cerrado-Amazônia nas últimas décadas?
- Qual o tipo de vegetação mais impactada pelo desmatamento na área de estudo?
- Qual o impacto do desmatamento no estoque de carbono das classes de vegetação nativa e uso da terra no período de 1985 a 2020 na área de transição?

## **2. OBJETIVO**

### **2.1. Objetivo geral**

Avaliar a dinâmica do uso e cobertura da terra, assim como os seus efeitos na densidade de carbono da biomassa acima do solo na região que forma o ecótono entre os biomas Cerrado e Amazônia, durante os anos de 1985 a 2020.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Verificar as classes de uso e cobertura da terra que, ao longo de 35 anos, apresentaram alterações mais expressivas, além de constatar o ano em que o impacto na cobertura vegetal foi maior na região do ecótono;
- Quantificar a variação da densidade de carbono da biomassa viva acima do solo em áreas de vegetação nativa e de uso antrópico ao longo do período de estudo;
- Analisar e descrever os impactos da agropecuária no estoque de carbono da vegetação nativa no período de 1985 a 2020 e durante intervalos anuais específicos, sendo eles: 1985-1995, 1995-2005, 2005-2010, 2010-2015 e 2015-2020;



- Descrever como a redução do estoque de carbono da vegetação nativa da região do ecótono Cerrado-Amazônia influencia nos efeitos das mudanças climáticas globais.

### **3. REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1. Ecótono Amazônia-Cerrado**

CLEMENTS (1905) aplicou o termo “ecótono” pela primeira vez para se referir a zona de tensão entre dois ecossistemas distintos. Para uma área ser considerada um ecótono, ao menos as condições que evidenciam a tensão e transição entre dois ecossistemas devem ser obedecidas (MILAN; MORO, 2016; MINSKI, 2021). As regiões ecotonais são caracterizadas pela heterogeneidade de espécies, hiperdinâmica da vegetação e oscilações climáticas persistentes (MARIMON et al., 2014; MINSKI, 2021; MARQUES et al., 2019). São áreas capazes de auxiliar em estudos sobre a dinâmica de ecossistemas, pois apresentam forte pressão evolutiva e genética, ou seja, os organismos possuem características morfológicas distintas entre si, são menos especializadas e mais tolerantes às mudanças ambientais. Em condições favoráveis, as espécies encontradas nos diferentes ecossistemas (ex. Cerrado e Amazônia) tendem a se modificar e formar novas espécies, corroborando com o processo de especiação (MARIMON et al., 2014; KARK; VAN RENSBURG, 2006).

É importante compreender que todo ecótono é uma zona de tensão/transição, todavia, nem toda zona de tensão/transição é um ecótono, pois estas teriam que apresentar as características explicitadas anteriormente que garantem o surgimento de propriedades inexistentes no ecossistema (MILAN e MORO, 2016; NAIMAN; DÉCAMPS, 1990).

O ecótono entre o Cerrado e Amazônia foi descrito pela primeira vez por SOARES (1953) devido à sua vasta complexidade florística e presença de muitos meandros caracterizados por sua retração e expansão devido às oscilações climáticas do passado. O mesmo autor relata ainda que o limite do ecótono era irregular e impreciso (ver MINSKI, 2021), tendo em vista que acompanha as variações ambientais. Alguns autores (RATTER et al., 1973; MARIMON et al., 2014), verificaram a complexidade da vegetação e o processo de expansão/retração entre os biomas Cerrado e Amazônia, onde puderam perceber aspectos relacionados a sucessão

ecológica por causa da presença de diferentes fitofisionomias na região; e o avanço da floresta sobre a savana, ou seja, o processo de “savanização”.

Ao longo dos anos, os ecossistemas ecotonais adquiriram mecanismos que possibilitaram a coexistência de ambas as fitofisionomias (florestal e savânica) na região. Os ecossistemas florestais amazônicos, por exemplo, conseguem preservar e reciclar os seus nutrientes a fim de manter o dossel sempre verde. A interação entre vegetação e solo é fortalecida através desses nutrientes, que podem ser encontrados em maior quantidade na parte aérea da vegetação (SCHUBART et al., 1984).

A extensão do ecótono Cerrado-Amazônia é de aproximadamente 6.240 km (RADAMBRASIL, 1982), fato que o torna conhecido mundialmente como a maior zona de transição entre savana e floresta (MARQUES et al., 2019). Nos anos de 1970 e 1985 o Projeto RADAMBRASIL (IBGE) uniu diversos dados de radar e de campo, sendo pioneiro na delimitação da área de transição (DA SILVA JUNIOR et al., 2019; MARQUES et al., 2019).

Estudos apontam que o desmatamento anual no Cerrado pode apresentar quantitativos até três vezes maior que na Amazônia (SAWYER, 2009). Programas e políticas públicas ainda são escassas no Cerrado, reafirmando a desigualdade entre biomas (SAWYER, 2009; KLINK e MACHADO, 2005).

A diferença entre os biomas na legislação corrobora com o avanço da fronteira agrícola no arco do desmatamento. O Código Florestal estabelece que as propriedades rurais devam ter 80% da área preservada como reserva legal na Amazônia Legal; 35% preservado para áreas de Cerrado dentro do limite da Amazônia Legal; e 20% preservado como reserva legal no Cerrado e demais regiões do país (Art. 12, Inciso I, Lei 12.651/12).

A área de transição entre os biomas apresenta espécies endêmicas, além de uma maior vulnerabilidade a perturbações nas áreas adjacentes. Ainda que o limite esteja definido pelo órgão, carece de ajustes e estudos constantes sobre a sua atual extensão e tamanho da área, que é alterada principalmente à medida que atividades de agricultura e pecuária avançam na região.

### **3.2. Uso e Cobertura da Terra (*Land Use and Land Cover – LULC*)**

Os conceitos de uso da terra e cobertura da terra são similares, mas por vezes utilizados de forma errônea. Enquanto o termo “uso da terra” se refere ao espaço

ocupado pelo ser humano, o termo “cobertura da terra” está relacionado à cobertura artificial ou natural. O “uso da terra” pode ser ainda associado à utilização cultural da terra, onde são realizadas atividades que não são possíveis serem obtidas diretamente por imagens de satélites e, portanto, devem ser utilizadas técnicas de fotointerpretação para saber informações do uso. A “cobertura da terra”, por outro lado, é efetivamente obtida através das imagens de sensoriamento remoto e comumente usada para caracterizar diferentes vegetações (ARAUJO FILHO et al., 2007; NOVO, 1989; ROSA, 2007).

As informações adquiridas por imagens de satélites podem ser apresentadas na forma de mapas (LEITE e ROSA, 2012). Estudos sobre as mudanças do uso e cobertura da terra são essenciais para compreender o comportamento da vegetação no espaço-tempo e auxiliar na elaboração de cenários que visem a proteção dos ecossistemas, sobretudo em áreas ecotonais que são mais vulneráveis a pressões externas e possuem importância global.

A intensa dinâmica dos usos antrópicos sobre as formações florestais e savânicas favorece a degradação de ecossistemas, alterações nos estoques de carbono, intensificação das queimadas, emissão de gases do efeito estufa, invasão por espécies exóticas invasoras, extinção da biodiversidade, dentre outros fatores degradantes (KLINK e MACHADO, 2005). Segundo GIBBS et al. (2007), o desmatamento é o principal emissor de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) nos ecossistemas terrestres, provocado majoritariamente por atividades agropecuárias, que, por sua vez, aumentam a proporção de fragmentos isolados e prejudicam o processo de sucessão ecológica.

### **3.3. Estoque de carbono**

O estoque de carbono está relacionado diretamente com a quantidade de biomassa (GOETZ et al., 2009). Para saber a biomassa total do ecossistema é importante quantificar os compartimentos (SNIF, 2016). A biomassa acima do solo abrange os arbustos, gramíneas, folhas, galhos, troncos, sementes e a toda a vegetação rasteira; enquanto a biomassa abaixo do solo é composta por raízes cujo diâmetro é superior a 2mm (CARDOSO et al., 2015).

A quantidade de carbono que as florestas armazenam no solo e na vegetação é superior ao que existe na atmosfera, contribuindo, dessa forma, como o estoque de

carbono global (BALBINOT et al., 2012). De acordo com SCHILENSINGER (1997) as plantas armazenam cerca de 45% a 50% de carbono na forma de biomassa acima do solo.

A vegetação é capaz de absorver o carbono proveniente do CO<sub>2</sub> atmosférico por meio da fotossíntese, processo que se enquadra como um serviço ambiental. Aproximadamente 121 Mg/ha de carbono são armazenados pelas florestas no Brasil (CARDOSO et al., 2015). Todavia, de acordo com a FAO (2011) as florestas brasileiras enfrentaram uma redução anual no carbono da biomassa entre os anos de 2000 e 2010, o equivalente a  $270 \times 10^3$  MgC quando se compara com o primeiro ano analisado desse intervalo.

Os estudos e cálculos específicos sobre o estoque de carbono na cobertura florestal das regiões tropicais foram impulsionados pela preocupação com as alterações climáticas, principalmente com as emissões de gases do efeito estufa. O objetivo foi compreender a capacidade do estoque de carbono dos ecossistemas florestais, tendo em vista que atividades naturais e antrópicas influenciam na absorção de carbono (REZENDE, 2002). Na literatura é possível ter acesso a diversos modelos estatísticos para estimar o estoque de carbono da biomassa acima e abaixo do solo em diferentes regiões do mundo.

Sabe-se que a retirada de indivíduos arbóreos altera a dinâmica do ecossistema e conseqüentemente o estoque de carbono nos compartimentos. Na vertente das emissões de carbono, a degradação florestal na Amazônia contribui com o aumento recorrente do desmatamento, precisando constar corretamente nos cálculos de balanço de carbono proveniente da ação antrópica. O poder público deve implementar leis que evitem a exploração madeireira predatória e incentivem a continuação dos serviços ecossistêmicos, bem como projetos de regeneração natural e monitoramento dos estoques atuais (FERREIRA et al., 2015).

Vários são os benefícios ambientais em avaliar e monitorar o estoque de carbono, dentre eles estão: 1) saber de forma precisa a localização e estimativas de carbono na vegetação, a fim de preservar o estoque, auxiliar na mitigação de fatores antropogênicos e manter os serviços ecossistêmicos; 2) evitar diferenças e incertezas entre as classes de uso e cobertura da terra (GOETZ et al., 2009; MARTIN et al., 2018), pois com o avanço do desmatamento e degradação a identificação através do sensoriamento remoto pode não ser tão precisa. É importante ressaltar que a região

fitoecológica, a tipologia e o estágio da sucessão da vegetação exercem grande influência na quantidade de carbono da biomassa (CARDOSO et al., 2015).

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Caracterização da área de estudo

A área de estudo envolve a região do ecótono entre o Cerrado e a Amazônia, definida a partir do limite oficial entre estes biomas (IBGE, 2019), com a construção de uma zona de 200 km no seu entorno, envolvendo uma área total de 137,15 Mha (1.371.530 km<sup>2</sup>). Esta zona inclui parte dos estados do Ceará, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Pará, Piauí, Rondônia e Tocantins, estendendo-se da costa Atlântica até a divisa entre o Brasil e a Bolívia (Figura 1).

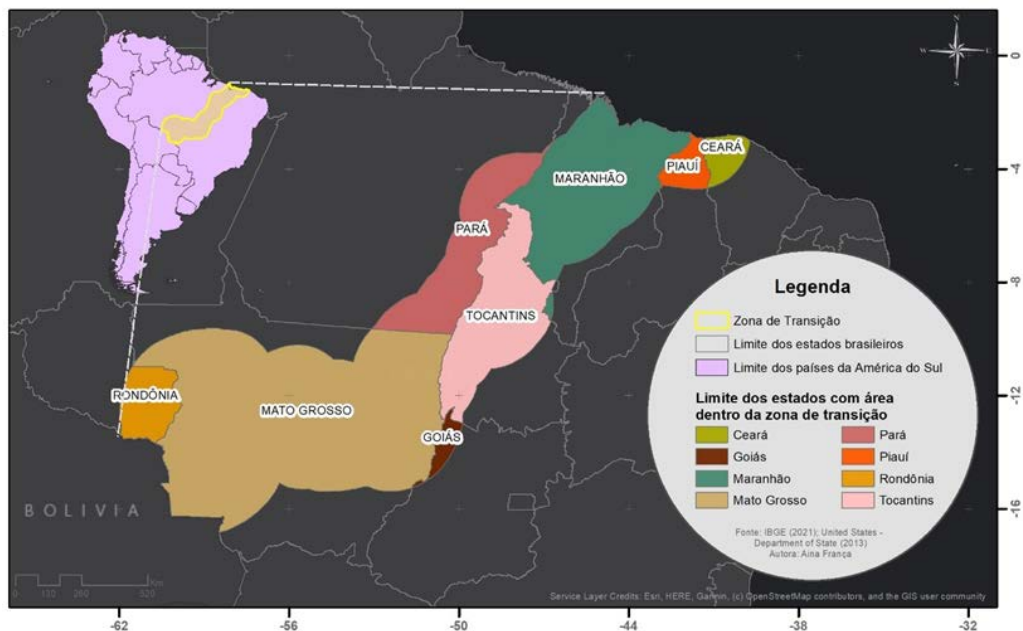


FIGURA 1: Localização da área de estudo com a zona de 200 km definida a partir do limite oficial entre os biomas brasileiros Cerrado e Amazônia.

Fonte: Adaptado de IBGE (2021); United States – Department of State (2013).

### 4.2. Base de dados

#### 4.2.1. Projeto de Mapeamento Anual de Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomass)

O MapBiomass foi criado com o intuito de produzir mapas que informassem a dinâmica de uso e cobertura da terra com eficiência, baixo custo e atualizada. Teve o seu início em julho de 2015 e hoje conta com outras coleções além do monitoramento

de LULC, como por exemplo, as coleções de monitoramento de cicatrizes de fogo e da superfície de água; e através do “MapBiomás Alerta” são disponibilizados relatórios com a área desmatada detectado em todo o território nacional. O processamento, validação e elaboração dos produtos tem o apoio de inúmeros especialistas, os quais fazem parte das universidades, ONGs e startups de tecnologia (MAPBIOMAS, 2022).

A parceria com a Google foi primordial, pois possibilitou o processamento das imagens de satélite e automatização do processo via *Google Earth Engine*. Nessa plataforma os dados geoespaciais podem facilmente serem visualizados por outros usuários, além de ter a vantagem de o armazenamento de dados ser feito no *Google Cloud Storage* (MAPBIOMAS, 2022).

O MapBiomás utiliza as imagens obtidas pelos sensores da coleção de satélite Landsat para produzir os mapas anuais de uso e cobertura da terra de 1985 até atualmente. As imagens têm resolução espacial de 30 metros e foram produzidas pela NASA e USGS (MAPBIOMAS, 2022).

#### 4.2.2. *Google Earth Engine*

O *Google Earth Engine* (GEE) é uma plataforma de computação com processamento em alta escala e armazenamento em nuvem, cujo objetivo é facilitar o acesso de pesquisadores e usuários operacionais aos dados geoespaciais. É uma plataforma recente, mas com aplicações em diversas áreas, sendo comumente usada em análises meteorológicas, hidrológicas, de vegetação e de uso e cobertura da terra (ZHAO et al., 2021). Apresenta dados completos da coleção Landsat, além dos arquivos Sentinel-1 e Sentinel-2, e outros conjuntos de dados ambientais, socioeconômicos e geofísicos. Muitos desses arquivos foram disponibilizadas de forma gratuita pela NASA, USGS, NOAA, dentre outras agências americanas e europeias (GORELICK et al., 2017).

Os dados pré-processados são disponibilizados de forma gratuita em um catálogo de imagens acessado por uma interface de programação de aplicativos (API). O usuário pode escrever e executar os comandos (*scripts*) em um ambiente de desenvolvimento interativo (IDE) utilizando duas linguagens de programação: JavaScript e Python. A IDE facilita a criação e execução de códigos de comando por parte do usuário, otimizando o processo. As bibliotecas do cliente auxiliam na construção dos *scripts* fornecendo objetos *proxy* para imagens, coleções, *strings*, números, listas,

dentre outros tipos de dados. Além disso, o usuário consegue adicionar via *Asset* os dados geoespaciais e usufruir dos recursos disponíveis na plataforma para efetuar as análises usando o processamento dos supercomputadores da Google (MUTANGA e KUMAR, 2019; GORELICK et al., 2017).

O GEE apresenta ferramentas de alta performance para coletar e analisar grandes volumes de dados ambientais globais, os quais podem facilmente ser compartilhados entre os pesquisadores, ONGs, empresas e agentes do governo por meio da própria plataforma ou via *Google Drive*. Os usuários podem ter acesso a uma base de dados muito ampla de sensoriamento remoto e à computadores de alto desempenho para processamento e análises de dados, de forma rápida e eficiente através do acesso à *internet* (GORELICK et al., 2017).

#### 4.2.2.1. *Toolkit - MapBiomass (Coleção 6)*

O acesso e processamento dos dados do Projeto Mapbiomas foi feito através do *toolkit* da Coleção 6 do MapBiomass. Os *toolkits* são *scripts* prontos da plataforma *Google Earth Engine* que facilitam o *download* de informações por bioma, estado ou município. O *upload* do limite da área de estudo foi realizado como um *Asset*, adicionando seu acesso via *script* do GEE, a fim de se possibilitar a visualização e processamento dos dados do uso e cobertura da terra para cada ano analisado (1985, 1995, 2005, 2010, 2015 e 2020).

#### 4.2.2.2. *Global Aboveground and Belowground Biomass Carbon Density Maps*

Os mapas de densidade de carbono são amplamente usados em estudos de cunho ambiental, todavia, ainda não há produtos que representem na íntegra o estoque de carbono acima e abaixo do solo em escalas apropriadas (SPAWN et al., 2020). As estimativas do estoque de carbono para os diferentes tipos de vegetação podem ser obtidas de forma aproximada para cada região com o auxílio de dados de campo e mapas locais.

SPAWN e GIBBS (2020) notaram a necessidade de mapas harmonizados e consistentes tanto para a densidade de carbono da biomassa acima do solo (*Aboveground biomass carbon density - AGBC*), quanto para abaixo do solo (*Belowground biomass carbon density - BGBC*), sendo este último ainda pouco estudado.

Os mapas dessa base informam estimativas para o ano de 2010, podendo, a partir de modelagem e dados de campo serem usados para estimar o estoque de carbono futuro. A abordagem envolveu pesquisas de literatura e utilização de mapas de entrada específicos, sendo estes principalmente de uso e cobertura da terra, tais como: biomassa, vegetação de tundra, pastagem e agricultura. Um modelo preditivo foi usado para casos em que não havia mapas para o período de interesse ou quando estes não abrangiam a extensão espacial desejada. A modelagem possibilitou a geração de um mapa mais atualizado e que atendia aos critérios do estudo (SPAWN; GIBBS, 2020).

Ressalta-se que a conversão dos dados de AGB das bases originais para densidade de AGBC seguiu a metodologia sugerida por MARTIN et al. (2018), onde multiplica-se os valores de biomassa acima do solo por um fator de conversão de carbono. Para MARTIN et al. (2018) os fatores de conversão comumente usados para representar a concentração de carbono presente na biomassa viva acima do solo são genéricos e passíveis de erro sistemático por subestimar ou superestimar as estimativas de carbono em diferentes vegetações. Esses mesmos autores concluíram em seu estudo que em áreas tropicais a concentração de carbono na madeira de angiospermas e coníferas atinge, aproximadamente, 45,6% e 44,7% do total da biomassa, reiterando que não é o ideal atribuir valores genéricos (ex. 50%) como fator de conversão de carbono, tendo em vista que ainda não há estudos com essa mesma metodologia aplicada para todo o globo.

Por fim, todos os mapas foram sobrepostos a fim de gerarem os mapas finais de densidade de carbono acima e abaixo do solo de forma global, cada um com as devidas camadas de incertezas, e com resolução espacial de 300 metros (SPAWN et al., 2020). Essa base de dados foi disponibilizada pelo ORNL DAAC na plataforma *Google Earth Engine*, onde o *script* pode ser manipulado a fim de englobar a área de interesse do usuário e facilitar na contabilização de carbono em locais que ainda não possuem essa informação.

#### **4.3. Dinâmica do uso e cobertura da terra (1985-2020)**

Os dados de LULC foram tratados na plataforma *Google Earth Engine*, as imagens *raster* e as tabelas com os quantitativos de área por classe de uso e cobertura foram exportadas para a nuvem a fim de ser realizado o *download* das informações



para ambiente físico, em computador pessoal. Com o auxílio do *software* Excel foi possível calcular o percentual de área alterada por classe de LULC para a área de estudo e gerar gráficos a fim de demonstrar com maior clareza a variação ao longo dos anos. As classes de uso e cobertura da terra na área de transição podem ser visualizadas no Quadro 1, bem como as suas devidas classificações em “Natural” ou “Antrópico”.

QUADRO 1 – Classes de uso e cobertura da terra obtidas através da plataforma MapBiomas para a área de transição entre os biomas Cerrado e Amazônia.

<b>Código</b>	<b>Legenda</b>	<b>Natural/Antrópico</b>
3	Formação Florestal	Natural
4	Formação Savânica	Natural
5	Mangue	Natural
9	Silvicultura	Antrópico
11	Campo Alagado e Área Pantanosa	Natural
12	Formação Campestre	Natural
15	Pastagem	Antrópico
20	Cana	Antrópico
21	Agricultura e Pastagem	Antrópico
23	Praia, duna e Areal	Natural
24	Área Urbanizada	Antrópico
25	Outras áreas não vegetadas	Antrópico
29	Afloramento rochoso	Natural
30	Mineração	Antrópico
31	Aquicultura	Antrópico
32	Apicum	Natural
33	Rio, lago e oceano	Natural
39	Soja	Antrópico
40	Arroz	Antrópico
41	Outras lavouras temporárias	Antrópico
48	Outras lavouras perenes	Antrópico

Fonte: MapBiomas - Coleção 6.0 (2022).

Ao longo desse estudo também será abordado o termo “Grupos de uso e cobertura da terra” ao invés de “Classes de uso e cobertura da terra”. Isto se deve ao fato de as classes terem sido agrupadas de forma semelhante ao nível 1 do MapBiomas com o intuito de facilitar a observação da área de vegetação desmatada, bem como verificar se houve aumento dos usos antrópicos durante o período de 1985 a 2020 no ecótono Cerrado-Amazônia. Os grupos estabelecidos constam no Quadro 2.

QUADRO 2 – Composição dos grupos estabelecidos no estudo com base na classificação de nível 1 do MapBiomas.

<b>Grupos</b>	<b>Classes de Uso e Cobertura da Terra</b>
Vegetação	Formação Florestal, Formação Savânica e Formação Campestre
Outras Formações Naturais	Mangue; Campo Alagado e Áreas Pantanosa; Praia, Duna e Área; Afloramento Rochoso; Apicum; Rio, lago e oceano.
Agropecuária	Pastagem, Cana, Agricultura e Pastagem, Soja, Arroz, Outras lavouras temporárias e Outras lavouras perenes.
Formações Antrópicas	Silvicultura, Área Urbanizada, Outras áreas não vegetadas, Mineração, Aquicultura.

Fonte: Adaptado da ATBD MapBiomas - Coleção 6.0 (2022).

Os mapas contendo a dinâmica do uso e cobertura da terra na área de estudo para os anos de 1985, 1995, 2005, 2010, 2015 e 2010 foram elaborados com auxílio do *software* ArcGIS® 10.8, em sistema de coordenadas geográficas, *Datum* WGS84. Todos os mapas tiveram as suas legendas padronizadas seguindo a paleta de cores definida para os respectivos códigos das classes da Coleção 6 do MapBiomas.

#### **4.4. Densidade de Carbono da Biomassa Acima do Solo (AGBC *density*)**

A base de dados de densidade de carbono da biomassa acima do solo, disponibilizado na plataforma *Google Earth Engine* através do ORNL (*Oak Ridge National Laboratory*) DAAC (*Distributed Active Archive Center*) for *Biogeochemical Dynamics*, foi acessada e recortada para a área de estudo. Ressalta-se que a base fornece os quantitativos de carbono da biomassa apenas para o ano de 2010.

A imagem *raster* contendo os dados da densidade de AGBC foi baixada das ‘nuvens computacionais’ *para ambiente físico, em computador pessoal*. De posse dos *rasters* de LULC e densidade de AGBC, ambos para o ano de 2010, foi possível obter uma tabela com as estatísticas de AGBC por classe de uso e cobertura. Essa tabela foi gerada a partir da função “*Zonal Statistics as Table*” (*Toolboxes* → *Spatial Analyst Tools* → *Zonal* → *Zonal Statistics as Table*) disponível no *software* ArcGIS®10.8, este usado também na elaboração do mapa de estoque de carbono no ecótono Cerrado-Amazônia em 2010. A função “*Zonal Statistics as Table*” utiliza as zonas do *raster* de entrada (ex. classes de LULC em 2010) e o *raster* que contém os valores de interesse (ex. densidade de AGBC) para retornar uma tabela com diversas variáveis estatísticas. No presente estudo, os dados de densidade de AGBC de 2010 serviram como base para estimar a média da densidade de AGBC por Megahectare para cada

tipo de uso e cobertura da terra em 2010, assim como para os demais anos analisados (1985, 1995, 2005, 2015 e 2020).

A Equação (1) foi usada para estimar a quantidade de carbono por cada classe de uso e cobertura da terra na área e período de estudo, usando como referência as médias estimadas para 2010.

$$\text{Estoque de C. (MgC)} = \text{Área}_{\text{classe LULC}} (\text{Mha/ano}) \times \text{AGBC}_{\text{classe LULC}} (\text{Mg/ha}) \quad (\text{Eq.1})$$

Para quantificar as alterações na densidade de carbono dos grupos estabelecidos no Quadro 2 na região do ecótono entre os anos de 1985 e 2020, realizou-se o somatório das densidades de AGBC (MgC) das classes de LULC que os compõem. As porcentagens foram obtidas a partir da razão entre a densidade de AGBC (MgC) do grupo e o somatório das densidades de AGBC de todas as classes de uso e cobertura (MgC) obtidas para o ano de 1985, multiplicando o resultado por cem.

Seguindo esse mesmo raciocínio calculou-se a quantidade de densidade de carbono, em MgC e porcentagem, durante intervalos anuais específicos para os grupos com resultados mais expressivos a fim de saber os anos que mais influenciaram na densidade de AGBC. As Equações 2 e 3 mostram como foi calculado a influência do grupo “agropecuária” sobre o estoque de carbono da vegetação nativa do ecótono Cerrado-Amazônia:

$$\text{Inf. Agropec. (MgC)} = \text{densidade AGBC Veg. (MgC)} + \text{densidade AGBC Agropec. (MgC)} \quad (\text{Eq. 2})$$

$$\text{Inf. Agropec. (\%)} = \text{Inf. Agropec. (MgC)} / \sum \text{densidade AGBC}_{1985} \times 100 \quad (\text{Eq.3})$$

Em que: “Inf. Agropec.” = influência da agropecuária.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Análise temporal do uso e cobertura no ecótono Cerrado-Amazônia

Os resultados deste estudo indicam que desde 1985 até 2020 a TCA perdeu 31,5 Mha de vegetação nativa dos ecossistemas florestais e savânicos, isso significa uma redução de 28% da área do ecótono desde o primeiro ano de análise deste estudo. A conversão da cobertura vegetal para diferentes usos antrópicos,

principalmente para classes de pastagem e agricultura, provocarem essa redução (Tabela 1).

As formações florestais foram as mais afetadas pelo desmatamento na região do ecótono, pois perderam 24,2 Mha da sua área no período de 35 anos deste estudo, sendo reduzidas em aproximadamente 32% em relação à cobertura florestal que havia em 1985. Os ecossistemas savânicos perderam ao todo 7,3 Mha entre 1985 e 2020, ou seja, a área diminuiu em 9,8% quando comparadas com o ano de referência (1985), e ainda que o percentual seja menor que o verificado para os ecossistemas florestais, implicam em extensas áreas desmatadas.

O relatório do MAPBIOMAS (2022) lançado na COP 27 mostrou que entre 1985 e 2020 houve um aumento superior a 151% (73,5Mha) da agropecuária em toda a Pan-Amazônia, sendo este uso da terra responsável por 98,5% do desmatamento na região. Ainda, o bioma Cerrado perdeu 21% (27,9Mha) da sua vegetação nativa durante esse período, sendo a fitofisionomia de formações savânicas a mais impactada, com redução de 24,9% da sua área (20,1Mha) em relação a 1985. De acordo com o MAPBIOMAS (2022), a agropecuária também aumentou expressivamente as suas áreas no Cerrado durante os 35 anos de estudo, passando a ocupar 45% de todo o bioma, representada majoritariamente pela pastagem e agricultura, que aumentaram a suas áreas em 23,2% e 520% nos 35 anos estudados, respectivamente.

MARQUES et al. (2019) verificaram que as florestas densas foram as mais afetadas pelo desmatamento na zona do ecótono Cerrado-Amazônia, apresentando redução de 93.115 km<sup>2</sup> (9,31 Mha) da sua área entre 1984 e 2014, devido a conversão de florestas para diferentes usos antrópicos. Em contrapartida, as áreas de uso antrópico aumentaram mais de 390% ao longo do período de estudo, o equivalente a 224.812 km<sup>2</sup> (22,4 Mha) de área ocupada. De forma similar, GARCIA et al. (2016) verificaram que em um período de três décadas houve um aumento de 366% da área agrícola no ecótono Cerrado - Amazônia, mostrando a rápida e intensa substituição da vegetação nativa no local por cultivos agrícolas e pastagens.

TABELA 1 – Área ocupada pelas classes de uso e cobertura no ecótono Cerrado-Amazônia.

Tipos de uso e cobertura da terra	1985		1995		2005		2010		2015		2020	
	Mha	%	Mha	%	Mha	%	Mha	%	Mha	%	Mha	%
Formação Florestal	74,67	54%	65,31	48%	53,76	39%	51,65	38%	50,86	37%	50,47	37%
Formação Savânica	30,11	22%	28,95	21%	26,41	19%	25,95	19%	25,42	19%	24,31	18%
Mangue	0,35	0%	0,35	0%	0,36	0%	0,36	0%	0,35	0%	0,35	0%
Silvicultura	-	0%	0,00	0%	0,04	0%	0,07	0%	0,12	0%	0,14	0%
Campo Alagado e Área Pantanosa	4,18	3%	4,08	3%	4,02	3%	3,99	3%	3,90	3%	3,87	3%
Formação Campestre	7,24	5%	6,62	5%	6,13	4%	5,93	4%	5,83	4%	5,73	4%
Pastagem	13,46	10%	24,30	18%	36,60	27%	38,23	28%	37,37	27%	36,89	27%
Cana	0,00	0%	0,00	0%	0,06	0%	0,10	0%	0,11	0%	0,12	0%
Agricultura e Pastagem	3,85	3%	2,88	2%	1,72	1%	1,58	1%	1,40	1%	1,85	1%
Praia, duna e Areal	0,13	0%	0,14	0%	0,14	0%	0,14	0%	0,14	0%	0,13	0%
Área Urbanizada	0,11	0%	0,20	0%	0,24	0%	0,26	0%	0,28	0%	0,29	0%
Outras áreas não vegetadas	0,26	0%	0,22	0%	0,25	0%	0,16	0%	0,17	0%	0,22	0%
Afloramento rochoso	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%
Mineração	0,00	0%	0,01	0%	0,01	0%	0,01	0%	0,01	0%	0,02	0%
Aquicultura	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%
Apicum	0,03	0%	0,04	0%	0,03	0%	0,03	0%	0,04	0%	0,03	0%
Rio, lago e oceano	1,68	1%	1,62	1%	1,62	1%	1,59	1%	1,57	1%	1,65	1%
Soja	0,14	0%	1,04	1%	4,55	3%	5,61	4%	8,03	6%	9,95	7%
Arroz	0,01	0%	0,02	0%	0,02	0%	0,04	0%	0,07	0%	0,10	0%
Outras lavouras temporárias	0,86	1%	1,29	1%	1,10	1%	1,33	1%	1,32	1%	0,90	1%
Outras lavouras perenes	0,00	0%	0,01	0%	0,05	0%	0,06	0%	0,08	0%	0,09	0%

Fonte: Adaptado de MapBiomias (2022).

Seguindo o raciocínio do presente estudo, em 1985 cerca de 54% do ecótono Cerrado-Amazônia era constituído por formações florestais, 22% por formações savânicas e 5% por formações campestres. Ainda em 1985, as pastagens ocupavam 10% de toda a área de transição. As classes de “agricultura e pastagem”, “soja”, “arroz” e “outras lavouras” (temporárias e perenes) totalizavam 3% naquele ano. Entre 1985 e 2020 foi observado o aumento de área na classe de “soja”, que passou a ocupar 9,9 Mha, cerca de 7% do ecótono.

O aumento da agropecuária ocorreu de forma expressiva nos intervalos desta análise, sendo que em 2010 as áreas destinadas às atividades pecuaristas foram mais amplas, ocupando 28% do ecótono, o equivalente a 38,23 Mha. No intervalo entre 2010 e 2020 nota-se a expansão da agropecuária em 2,9 Mha, por outro lado, as áreas de vegetação nativa sofreram com o redução de 3 Mha, destacando que 97% do desmatamento na TCA que ocorreu nessa década foi devido à substituição da cobertura vegetal nativa a fim de aumentar as áreas de lavouras e pasto.

No ano de 2020 fica evidente que as áreas de vegetação nativa foram drasticamente reduzidas, sendo que as formações florestais, savânicas e campestres passaram a ocupar 37%, 18% e 4%, respectivamente, da TCA. A Figura 2 apresenta mais detalhes das mudanças do uso e cobertura da terra na área de transição do Cerrado-Amazônia entre 1985 e 2020.

Segundo GARCIA et al. (2011), o avanço do agronegócio no Cerrado recebe forte influência do relevo plano e disponibilidade hídrica, que por sua vez contribuem com a instalação de pivôs centrais e uso de maquinário pesado. Para RIVERO et al. (2009) a pecuária continuará avançando na região Amazônica, pois é uma atividade de baixo custo e pouco exigente quanto ao relevo e preparo do solo. Atividades de agricultura são mais dependentes das condições edafoclimáticas, insumos e mão-de-obra. Embora a pecuária também dependa dos mesmos fatores, esta é menos onerosa e apresenta boa adaptabilidade (RIVERO et al., 2009).

Enquanto as florestas ecotonais são convertidas para outros usos, as florestas remanescentes, por sua vez, encontram-se protegidas como Reservas Legais (MARQUES et al., 2019; MEWS et al., 2012). Essa alteração na cobertura vegetal deixa a área fragmentada, semelhante a um mosaico composto por diversos usos, refletindo o processo de degradação que as florestas ecotonais têm enfrentado, juntamente com a perda de serviços ecossistêmicos e do estoque de carbono. A área

está no arco do desmatamento, a expansão agrícola avança rapidamente enquanto as medidas que envolvem a conservação, direito dos povos e criação de leis ocorrem lentamente (GARCIA et al., 2016).

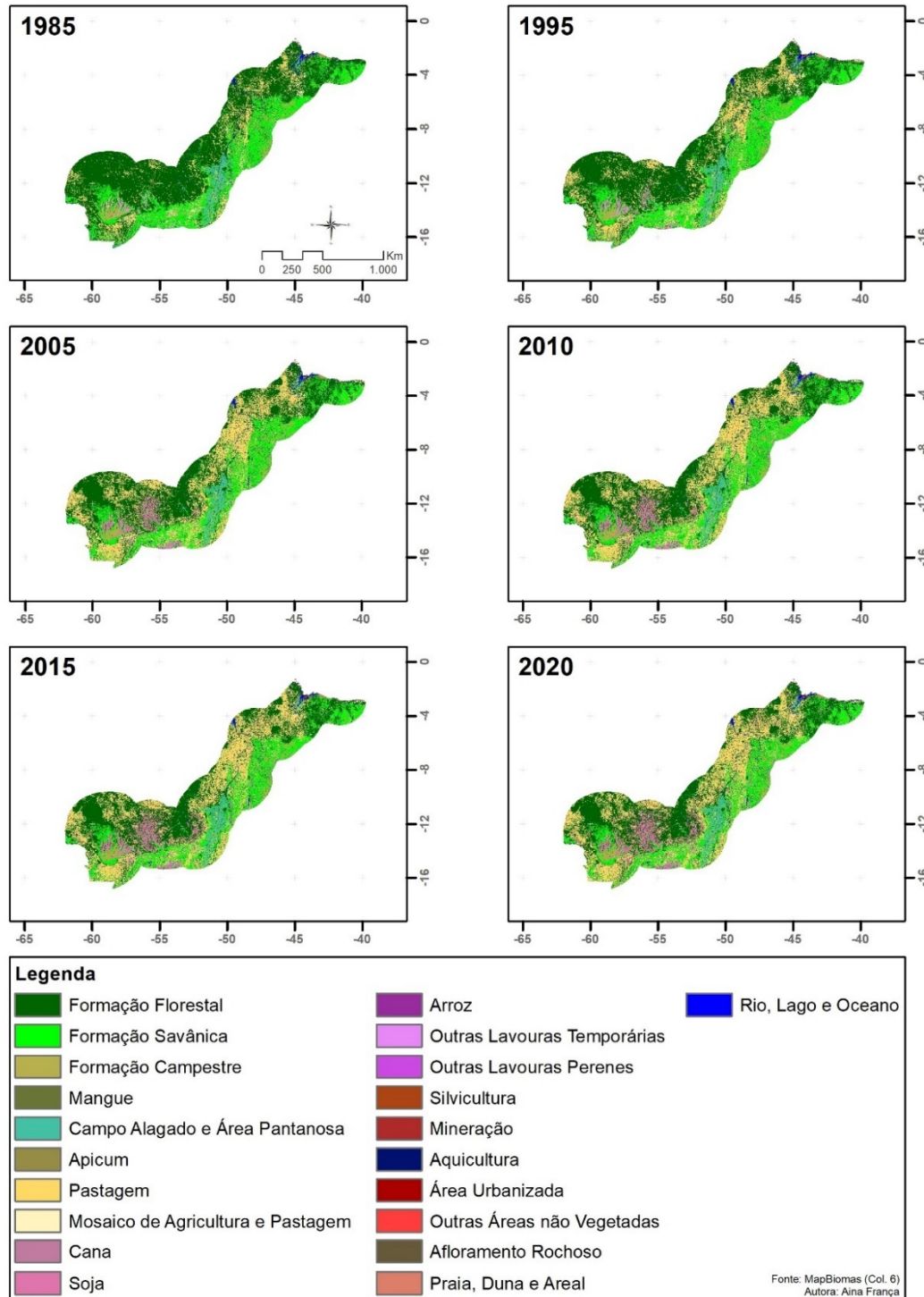


FIGURA 2: Distribuição espacial das classes de uso e cobertura da terra para a o ecótono Cerrado-Amazônia.

Fonte: Adaptado do Mapbiomas – Coleção 6.0 (2022).

Com base nos resultados deste estudo, observou-se que as classes de uso e cobertura da terra representadas por ecossistemas florestais e savânicos estavam bem conservadas no primeiro ano deste estudo (1985) e, muito provavelmente, mais equilibradas ecologicamente, conectadas entre si e com maior capacidade de prestação de serviços ecossistêmicos. Entretanto, as áreas de vegetação nativa foram bastante alteradas e convertidas para outros usos da terra durante os 35 anos de estudo na região do ecótono.

Os percentuais que informam os ganhos e perdas dos grupos de “vegetação”, “agropecuária”, “formações antrópicas” e “outras formações naturais” constam na Figura 3. As mudanças do uso e cobertura da terra que ocorreram entre 1985 e 2020 podem ser observadas em detalhes na Figura 4.

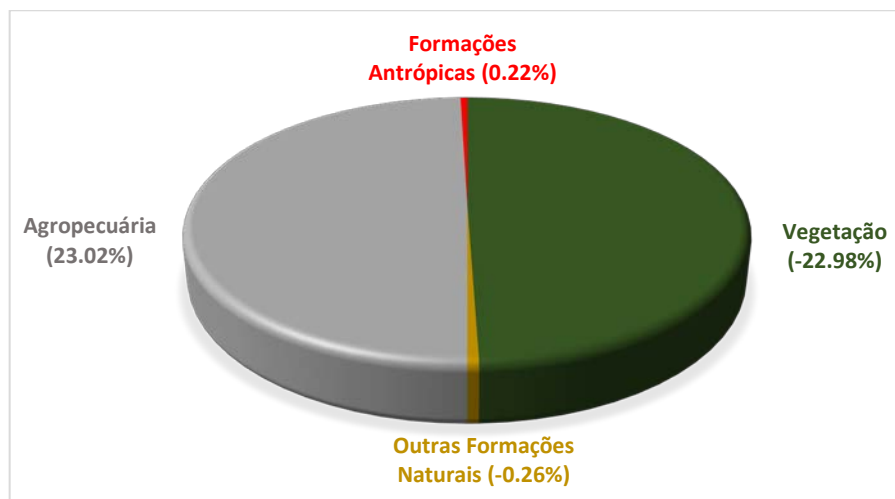


FIGURA 3: Área percentual que cada grupo de uso e cobertura da terra ganhou ou perdeu durante os 35 anos analisados. Atenta-se para o aumento das atividades agropecuaristas em detrimento da redução da vegetação nativa.

Fonte: Adaptado do Mapbiomas – Coleção 6.0 (2022).

A redução da cobertura vegetal nativa afeta a dinâmica e a resiliência do ecossistema e isso gera consequências como: perda da biodiversidade, redução da prestação de serviços ecossistêmicos, menor capacidade de captura de GEE, o que contribui com a intensificação do problema das mudanças climáticas globais. Áreas de floresta que antes foram desmatadas para serem submetidas a atividades agrícolas e de pastagem são frequentemente abandonadas anos depois, pois o potencial produtivo da área é reduzido. Com o abandono, o ecossistema tende a buscar o equilíbrio novamente, regenerando de forma natural até se ter uma vegetação secundária, comumente chamada de floresta secundária (FERNANDES et al., 2020).



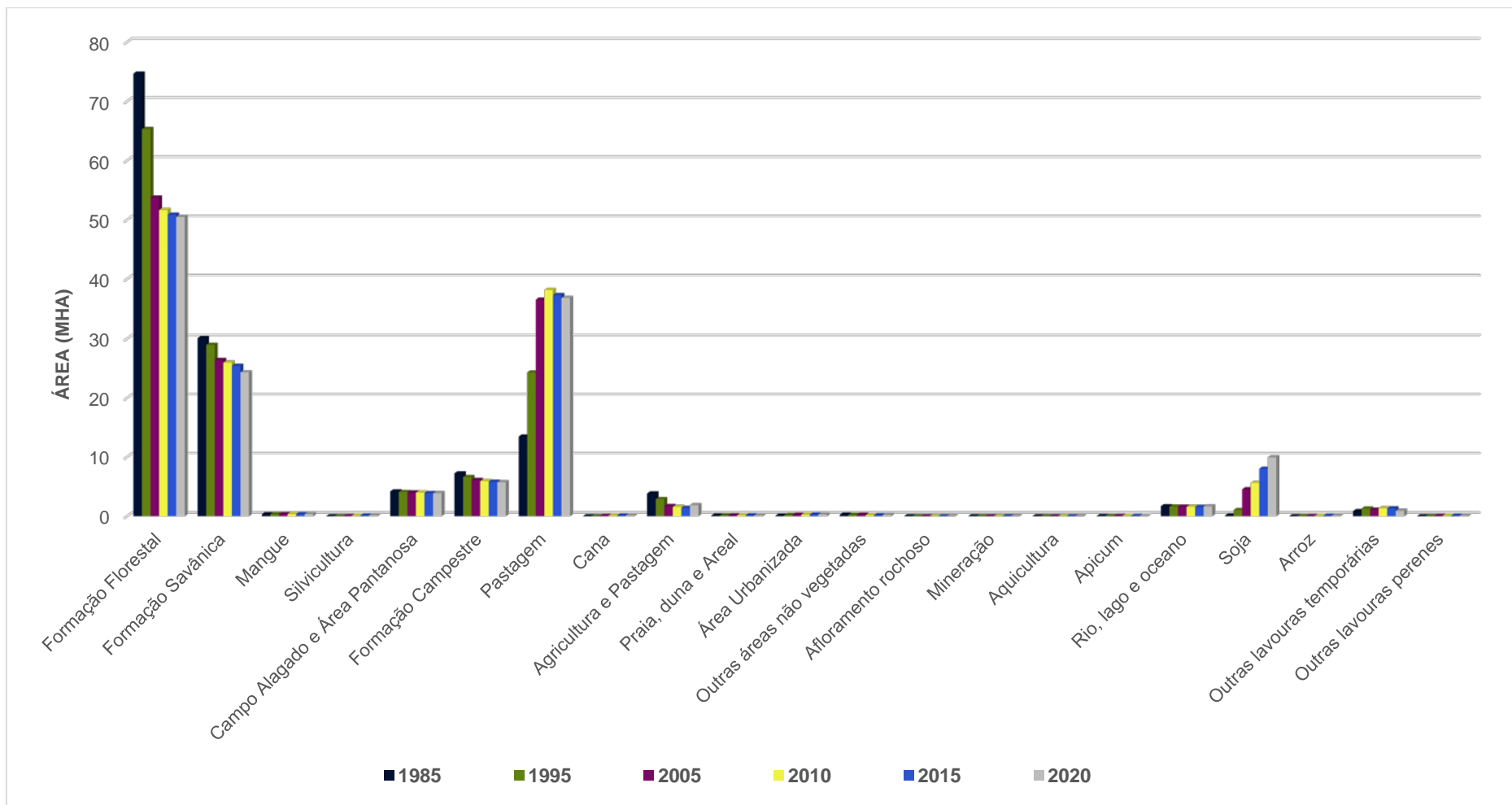


FIGURA 4: Mudanças das classes de uso e cobertura da terra na TCA entre 1985 e 2020. Formações florestais, savânicas e campestres apresentam redução das suas áreas ao longo dos anos, enquanto a áreas para o plantio de soja e atividades pecuaristas tendem a aumentar. Adaptado do Mappiomas – Coleção 6.0 (2022)

Alguns autores já demonstraram as consequências das ações humanas sobre as florestas preservadas, que em um primeiro momento apresentavam espécies endêmicas e que após as perturbações as espécies tendem a desaparecer. Ainda que degradadas, as florestas atuam na conectividade da paisagem e possuem potencial de oferecer bens ecossistêmicos novamente se as devidas iniciativas de proteção e conservação forem tomadas (FERREIRA et al., 2015).

MARQUES et al. (2019) observou em seu estudo que as florestas ecotonais sofreram mais com o desmatamento em comparação com as florestas densas, fato que pode estar associado à falta de Unidades de Conservação e Terras Indígenas, bem como ao mapeamento incorreto da zona de transição.

As Unidades de Conservação (UCs) abrigam os fragmentos florestais mais conservados na região de estudo (MARQUES et al., 2019). As UCs foram limitantes do desmatamento, devido a restrição legal e ao monitoramento ambiental implementado pelos órgãos ambientais. Além disso, é fundamental que as Unidades de Conservação dessa região estejam conectadas entre si por formações vegetais nativas, possibilitando a formação de corredores ecológicos para a fauna e flora. O isolamento das UCs pode favorecer o colapso de populações da fauna e flora e, conseqüentemente, levar algumas espécies à extinção (LANDE, 1998).

O mapeamento realizado pelo IBGE superestima as áreas de Cerrado e apresenta a linha de delimitação entre os biomas da zona de transição cerca de três vezes menor que o recomendado por MARQUES et al. (2019). A criação de Unidades de Conservação nesta zona de transição entre o Cerrado e Amazônia e, mais especialmente no que hoje é tratado como bioma Cerrado, seria uma ação política relevante em favor da conservação da biodiversidade, tendo em vista que a diferença entre os biomas é mais uma vez acentuada quando se compara o valor e a posse das terras, que é majoritariamente composta por propriedades privadas e apresentam preços da terra mais elevados no contexto do bioma Cerrado (SAWYER, 2009).

## **5.2. Dinâmica do estoque de carbono da biomassa acima do solo**

Os valores da área de cada classe de uso e cobertura da terra obtidos a partir dos dados do Projeto MapBiomas (2022) e as estimativas médias de densidade de carbono da biomassa aérea, adquiridas através da função *Zonal Statistics as Table* do software ArcGIS com os dados disponibilizados pelo ORNL DAAC (2022), estão

apresentados na Tabela 2. De posse dos valores da densidade de AGBC e das áreas das classes de LULC foi possível estimar a densidade média de carbono AGB de todas as classes dos anos analisados neste estudo (1985, 1995, 2005, 2010, 2015 e 2020).

TABELA 2 – Estimativa média da densidade de carbono da biomassa acima do solo (AGBC) para o ano de 2010. Os valores de AGBC serviram como referência na estimativa para os anos de 1985, 1995, 2005, 2010, 2015 e 2020. A densidade de AGBC média para cada classe de LULC nos respectivos anos de análise foram obtidos através do produto entre “AGBC em 2010” e a área de uso e cobertura da terra (Mha) das classes/ano.

<b>Classes de Uso e Cobertura da Terra (LULC)</b>	<b>Área LULC em 2010 (Mha)</b>	<b>AGBC em 2010 (MgC)</b>
Formação Florestal	51,65	72,95
Formação Savânica	25,95	25,44
Mangue	0,36	34,76
Silvicultura	0,07	36,84
Campo Alagado e Área Pantanosa	3,99	10,02
Formação Campestre	5,93	11,31
Pastagem	38,23	14,27
Cana	0,10	14,30
Agricultura e Pastagem	1,58	14,08
Praia, duna e Areal	0,14	0,66
Área Urbanizada	0,26	6,25
Outras áreas não vegetadas	0,16	8,24
Afloramento rochoso	0,00	5,70
Mineração	0,01	13,82
Aquicultura	0,00	5,96
Apicum	0,03	9,83
Rio, lago e oceano	1,59	34,24
Soja	5,61	5,16
Arroz	0,04	5,03
Outras lavouras temporárias	1,33	7,16
Outras lavouras perenes	0,06	10,17
<b>Total (Σ)</b>	<b>137,10</b>	<b>346,19</b>

Fonte: MapBiomass – Coleção 6.0 (2022); ORNL DAAC (2022).

A Tabela 3 mostra as estimativas médias de densidade de carbono AGB por classe de uso e cobertura da terra para os anos informados, nela também é possível observar o quanto cada classe foi alterada (MgC) entre 1985 e 2020, bem como a porcentagem do quanto essa alteração representa em relação ao estoque de carbono AGB total que havia no primeiro ano de estudo.

TABELA 3 – Densidade média de carbono AGB para as classes de LULC no ecótono Cerrado-Amazônia. Algumas classes mostraram alta variação na densidade de carbono ao realizar a diferença entre 2020 e 1985, possivelmente indicando que houve redução do estoque de carbono ou emissão de carbono.

Classes de Uso e Cobertura da Terra (LULC)	Densidade de carbono AGB por classe de uso e cobertura da terra (MgC)						Alteração densid. AGBC 1985-2020 (MgC)	Alteração densid. AGBC 1985-2020 (%)
	1985	1995	2005	2010	2015	2020		
Formação Florestal	5447,46	4764,54	3921,77	3768,14	3710,21	3681,61	-1765,85	-20,42
Formação Savânica	766,24	736,71	671,92	660,34	646,73	618,64	-147,61	-1,71
Mangue	12,07	12,30	12,34	12,42	12,30	12,12	0,06	0,00
Silvicultura	0,00	0,06	1,38	2,64	4,32	5,18	5,18	0,06
Campo Alagado e Área Pantanosa	41,93	40,87	40,26	40,01	39,12	38,79	-3,15	-0,04
Formação Campestre	81,86	74,88	69,26	67,05	65,93	64,77	-17,09	-0,20
Pastagem	192,07	346,69	522,33	545,49	533,24	526,36	334,28	3,87
Cana	0,01	0,06	0,84	1,43	1,62	1,69	1,68	0,02
Agricultura e Pastagem	54,14	40,57	24,16	22,19	19,75	26,02	-28,11	-0,33
Praia, duna e Areal	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,09	0,00	0,00
Área Urbanizada	0,69	1,28	1,53	1,62	1,75	1,81	1,13	0,01
Outras áreas não vegetadas	2,17	1,84	2,06	1,28	1,38	1,84	-0,34	0,00
Afloramento rochoso	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mineração	0,04	0,08	0,10	0,13	0,18	0,23	0,19	0,00
Aquicultura	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,00
Apicum	0,32	0,35	0,30	0,31	0,39	0,26	-0,06	0,00
Rio, lago e oceano	57,64	55,59	55,45	54,35	53,88	56,48	-1,16	-0,01
Soja	0,71	5,35	23,47	28,97	41,44	51,35	50,64	0,59
Arroz	0,03	0,10	0,10	0,19	0,36	0,49	0,46	0,01
Outras lavouras temporárias	6,14	9,24	7,87	9,54	9,47	6,41	0,27	0,00
Outras lavouras perenes	0,02	0,11	0,53	0,65	0,84	0,91	0,89	0,01
<b>Total (Σ)</b>	<b>8648,64</b>	<b>8085,70</b>	<b>7360,77</b>	<b>7226,88</b>	<b>7158,03</b>	<b>7115,07</b>	<b>-1568,57</b>	<b>-18,14</b>

Fonte: MapBiomas – Coleção 6.0 (2022); ORNL DAAC (2022).

Os resultados para o período entre 1985 e 2020 mostraram que as classes de uso e cobertura da terra que apresentaram mudanças mais expressivas na densidade do carbono da biomassa acima do solo foram: 1) formação florestal; 2) formação savânica e 3) pastagem. As florestas e as savanas reduziram em, respectivamente, 20,4% (1.765 MgC) e 1,7% (147 MgC) a densidade de carbono; as formações campestres diminuíram em 0,2% (17 MgC) a densidade de carbono. As classes de “pastagem” e “soja” apresentaram, respectivamente, aumento de 3,87% (334 MgC) e 0,59% (50 MgC) na densidade de carbono da biomassa na região do ecótono (Figura 5).

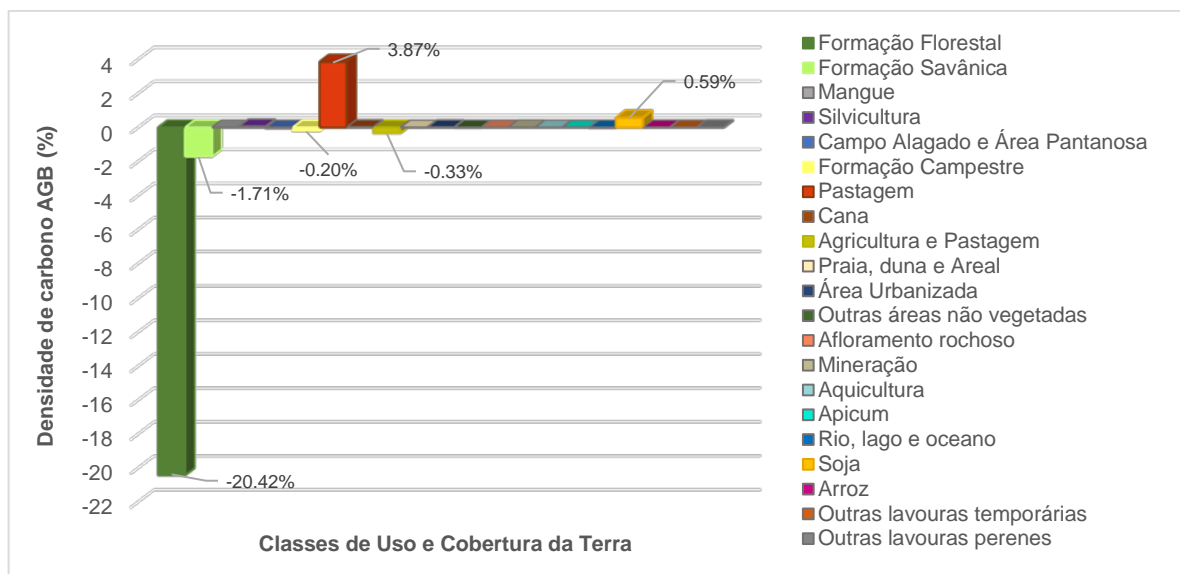


FIGURA 5: Impactos das mudanças de uso e cobertura da terra na densidade de carbono da biomassa acima do solo entre 1985 e 2020 na TCA.

Fonte: Adaptado do Mappiomas – Coleção 6.0 e ORNL DAAC (2022).

Ressalta-se que os valores negativos obtidos para a cobertura vegetal da TCA neste estudo informam que o estoque de carbono foi severamente impactado com o ritmo do desmatamento, provocado predominantemente pela agropecuária (olhar item 5.2). A vegetação atua ativamente na mitigação de gases do efeito estufa ao sequestrar o carbono, a sua substituição para áreas de pasto e/ou lavouras implica no retorno do carbono para a atmosfera, uma vez que o desmatamento, a degradação florestal, as queimadas, o abandono de pastagens degradadas, entre outros processos e práticas agrícolas, resultam na perda da biomassa vegetal do ecótono e, portanto, na redução do estoque de carbono AGB.

Em 35 anos a densidade total de carbono da biomassa acima do solo da área de transição Cerrado-Amazônia foi reduzida em 1.568 MgC (18%), com média anual de 44,8 MgC/ha entre 1985 e 2020. A densidade de carbono da vegetação, que é compreendida tanto por ecossistemas florestais quanto savânicos, foi a mais impactada, com redução total de 22% em relação ao primeiro ano de análise (1985), o equivalente a 1.931,5 MgC (Tabela 4).

TABELA 4 – Alteração na densidade de AGBC por grupo de uso e cobertura da terra, em MgC e porcentagem, no período de 1985 a 2020. Os grupos de uso antrópico (agropecuária e outras formações antrópicas) contribuíram com o sequestro de carbono da região, contudo, são valores extremamente reduzidos se comparado ao impacto causado no estoque da vegetação nativa.

Grupos de Uso e Cobertura da Terra	Densidade de AGBC	
	MgC	%
Vegetação	-1.931,5	-22,32
Agropecuária	360,1	4,16
Outros Formações Naturais	-4,3	-0,05
Outras formações antrópicas	6,2	0,07
<b>Perda total</b>	<b>-1.568,6</b>	<b>-18,14</b>

Fonte: MapBiomass – Coleção 6.0 (2022); ORNL DAAC (2022).

Durante o período de estudo a contribuição da agropecuária na manutenção do estoque de carbono AGB foi de 4% (360 MgC) para a região do ecótono, mostrando que esse grupo armazenou pequenas quantidades de carbono, possivelmente devido à presença de gramíneas nas áreas de pasto e às plantações de soja. Todavia, considerando os ganhos e perdas, este grupo de uso da terra foi responsável pela perda líquida de 18% dos 22% observados para o estoque de carbono da vegetação nativa (Tabela 5).

TABELA 5 – Influência da agropecuária na redução da densidade de carbono da vegetação nativa (estoque de carbono). Nota-se que na maioria dos intervalos analisados a fração que este grupo representa na perda líquida do estoque de carbono da vegetação na TCA é superior a 80%.

Intervalos	Redução da densidade de AGBC		Representatividade da Agropecuária na Perda Líquida de densidade AGBC
	MgC	%	
1985-1995	-570,4	-6,60%	79,27
1995-2005	-736,0	-8,51%	80,58
2005-2010	-138,2	-1,60%	82,57
2010-2015	-74,4	-0,86%	102,39
2015-2020	-51,4	-0,59%	88,77
<b>Total</b>	<b>-1.570,4</b>	<b>-18,16%</b>	<b>81,31</b>

Fonte: MapBiomass – Coleção 6.0 (2022); ORNL DAAC (2022).

No intervalo entre 1985 e 1995 o estoque de carbono da biomassa aérea reduziu 8% em relação ao primeiro ano do estudo, indicando a perda de 719,4 MgC na TCA (Tabela 6). Desse total, as atividades agropecuaristas foram responsáveis por 6,60% de toda a redução do estoque de carbono observada neste intervalo, correspondendo a 570 MgC emitidos para a atmosfera em função do processo de mudança da cobertura vegetal nativa para destinar às áreas agrícolas e de pastagens.

TABELA 6 – Alterações na densidade de AGBC dos grupos de "vegetação" e "agropecuária" em diferentes intervalos anuais. Em todas os intervalos analisados a agropecuária foi responsável por provocar a redução dos estoques de carbono da biomassa viva acima do solo, e consequentemente contribuir com a emissão de carbono para a atmosfera.

Intervalos	Vegetação		Agropecuária	
	MgC	%	MgC	%
1985-1995	-719,4	-8,32%	149,0	1,72%
1995-2005	-913,2	-10,56%	177,2	2,05%
2005-2010	-167,4	-1,94%	29,2	0,34%
2010-2015	-72,7	-0,84%	-1,7	-0,02%
2015-2020	-57,9	-0,67%	6,5	0,08%
<b>Total</b>	<b>-1.930,55</b>	<b>-22%</b>	<b>360,10</b>	<b>0,04</b>

Fonte: MapBiomass – Coleção 6.0 (2022); ORNL DAAC (2022).

No intervalo entre 1995 e 2005 o estoque de carbono AGB foi alterado drasticamente, a vegetação nativa sofreu com os impactos da expansão do agronegócio, culminando com a redução de 10,56% do estoque de carbono em relação ao estoque que havia em 1985, esse valor representa a maior taxa de redução encontrada neste estudo dentre todos os intervalos analisados, mostrando que 913 MgC foram emitidos para a atmosfera. O incremento da agropecuária também foi maior nesse intervalo, onde 177 MgC foram sequestrados e armazenados por gramíneas e plantações agrícolas que estão presentes na TCA, no entanto, assim como nos anos anteriores e conforme mostrado na Tabela 5, as atividades de agricultura e pecuária diminuíram em 8,51% o estoque de carbono da vegetação, isso corresponde a 736 MgC emitidos.

Na Figura 6 é possível observar a existência de um padrão, onde a pressão provocada pela agropecuária sob a cobertura vegetal nativa ocasiona uma redução considerável no estoque de carbono da biomassa aérea, conquanto em taxas menores, como nos anos de 2005 a 2020, mas com a mesma frequência. Em suma, durante todos os intervalos anuais o grupo em questão emitiu grandes quantidades de carbono na região do ecótono Cerrado-Amazônia.

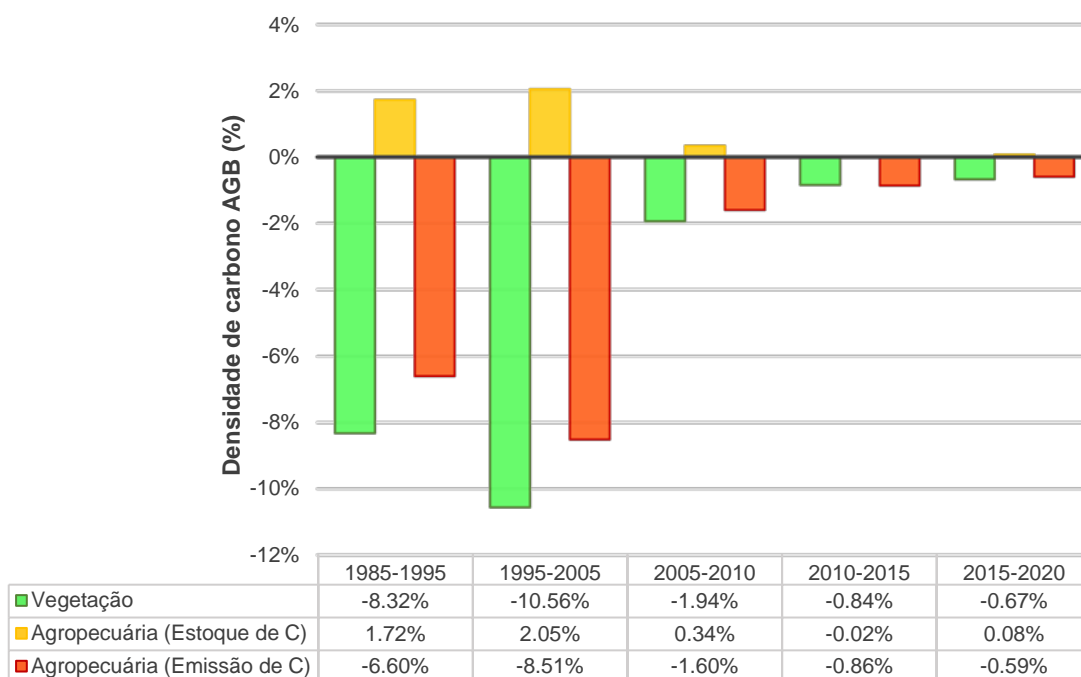


FIGURA 6: Impactos da agropecuária no estoque de carbono da vegetação nativa em intervalos específicos que contemplam o período de estudo. Nota-se que as classes de agropecuária contribuíram com o estoque de carbono do ecótono, contudo, é uma quantidade bastante reduzida quando comparada com a biomassa AGB que existia antes da conversão, enfatizando que o agronegócio e a adoção de práticas agrícolas não sustentáveis respondem por mais da metade das perdas do estoque de carbono da biomassa aérea, e por consequência aumentam as taxas de emissão na TCA.

Fonte: Adaptado do Mapbiomas – Coleção 6.0 e ORNL DAAC (2022).

Em 2010, ano de referência da base de dados usada neste estudo, as áreas com maior densidade de carbono de biomassa acima do solo estavam bastante destacadas (Figura 7) onde existia maior cobertura florestal, conforme mostra a distribuição espacial de LULC na Figura 2. As formações florestais são as que mais contribuem com o estoque de carbono AGB do ecótono, podendo armazenar até 196,66 MgC/ha.

Salienta-se que as formações savânicas também exercem importante função no estoque de carbono do ecótono, sendo conhecidas como “florestas invertidas” por armazenarem carbono, principalmente, na biomassa subterrânea. Em vista disso, as áreas menos destacadas na Figura 7 não devem ser consideradas inteiramente antrópicas, tendo em vista que a zona de transição abrange os biomas Cerrado e Amazônia, no qual o primeiro contribui ativamente no estoque de carbono da biomassa abaixo do solo. Os impactos causados pelo rápido avanço da agropecuária na TCA foram analisados e descritos neste estudo, entretanto, há ainda a necessidade



de conhecer detalhadamente a influência desse grupo nos estoques de carbono acima e abaixo do solo conjuntamente.

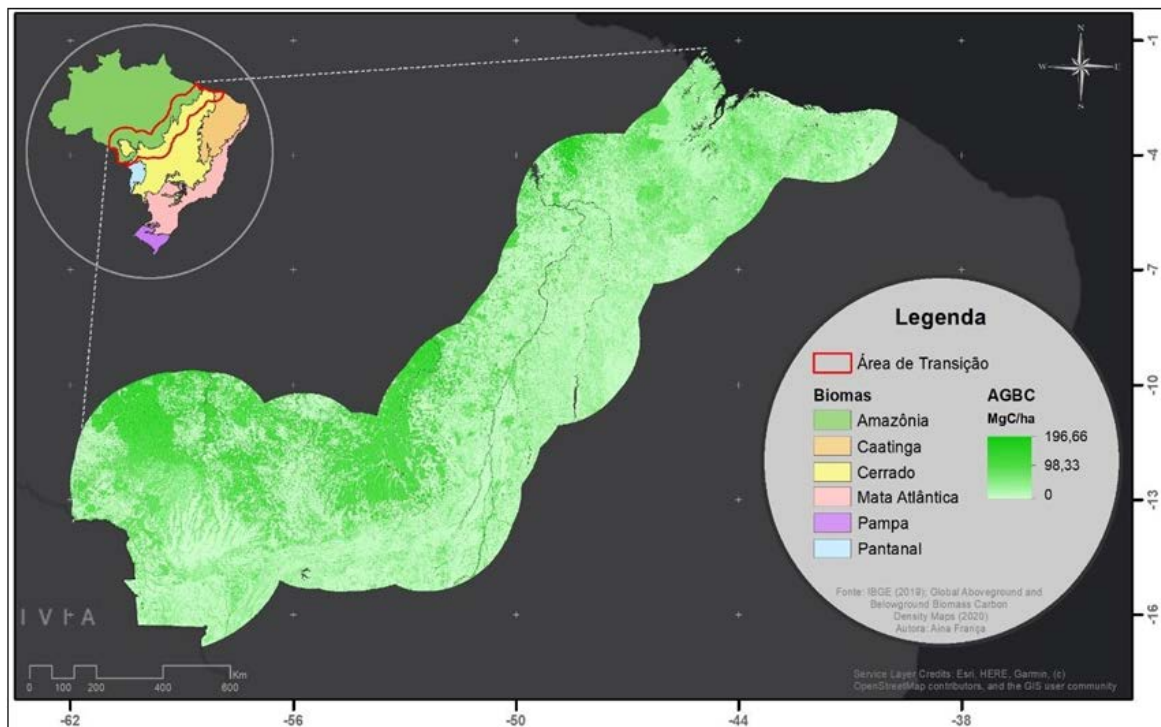


FIGURA 7: Distribuição espacial do estoque de carbono acima do solo na TCA em 2010. Fonte: Adaptado do ONRL DAAC (2022).

No estado de Mato Grosso foi verificado um aumento de 57% na taxa de desmatamento provocados pela agropecuária, que resultou na redução do estoque de carbono na região. A agropecuária é responsável pela maior parte das áreas degradadas e abandonadas do país e ainda assim segue sendo incentivada com um modelo de produção não-conservacionista, que produz à medida que desmata (FERNANDES et al., 2020).

A conversão de vegetação nativa para usos antrópicos, juntamente com as queimadas ilegais e a exploração madeireira predatória, impactam diretamente no estoque de carbono da vegetação, pois o carbono que antes estava armazenado é liberado para a atmosfera, contribuindo com as taxas de emissão dos GEE e consequentemente com o aquecimento global (MARQUES, 2016). Assim, a partir da análise dos dados de densidade de carbono da biomassa acima do solo obtidos neste estudo e com base nas informações obtidas a partir da literatura científica, é possível inferir que:

- 1) A agropecuária foi responsável pela maior parte das emissões de carbono na região do ecótono Cerrado-Amazônia durante os anos de 1985 a 2020, tendo

em vista que este grupo de uso da terra causou uma redução maior que 80% no estoque de carbono da vegetação nativa na área e período de estudo. A dinâmica de uso e cobertura da terra apresentada neste estudo enfatiza o desmatamento acelerado e o avanço da fronteira agrícola sobre as áreas vegetadas da TCA, sobretudo em formações florestais;

- 2) Os valores de densidade de carbono acima do solo para o grupo "vegetação" podem ser entendidos como o estoque de carbono, que por sua vez foi impactado diretamente devido a conversão de vegetação nativa por atividades de agricultura e pecuária durante os 35 anos analisados;
- 3) Os resultados do estudo indicam que MARQUES et al. (2019) estavam corretos quando observaram que a área de floresta na zona transição entre os biomas Cerrado e Amazônia foi subestimada, bem como a sua caracterização fitofisionômica precisa, necessitando ser apropriadamente ajustada a um novo contexto físico, biótico, socioeconômico e legal.

Em 2017 o Brasil atingiu a sétima posição de maior emissor de Gases do Efeito Estufa (GEE) global, com 2 bilhões de MgCO<sub>2</sub>eq emitidos (FERNANDES et al., 2020). Segundo o relatório do MAPBIOMAS (2022) foram emitidos cerca de 45,1 Gt de CO<sub>2</sub> desde 1985 até 2020, desse total, a Amazônia brasileira emitiu 31,3 Gt de CO<sub>2</sub>, valor que está associado à intensa dinâmica de conversão de vegetação nativa para áreas de pasto e/ou áreas de agricultura, em especial para o plantio de soja e milho. Esse quantitativo enfatiza a necessidade da redução das taxas de desmatamento e de uma produção mais sustentável, principalmente quando se leva em consideração o fato de as regiões tropicais estarem em primeiro lugar como emissor de GEE, acompanhada pelos setores de agropecuária (24%) e energia (21%) (FERNANDES et al., 2020).

ZELARAYÁN et al. (2015) realizaram um estudo na floresta ripária amazônica focando nas áreas mais conservadas e verificaram que estas contribuíram com mais da metade do estoque total de carbono (72,40%). Para preservar os estoques e mitigar o CO<sub>2</sub> atmosférico a fim de reduzir os efeitos das mudanças climáticas, seria crucial restaurar os ecossistemas e implementar práticas sustentáveis de uso da terra (IPCC, 2019). Certamente tais ações devem ser incentivadas pelos governantes, especialmente nos âmbitos financeiro, socioeconômico, tecnológico e institucional.

## 6. CONCLUSÃO

Os resultados do presente estudo indicam que a região do ecótono entre os biomas Cerrado e Amazônia foi fortemente impactada por atividades antrópicas, em especial com a ocupação e expansão de áreas destinadas às atividades agrícolas e pecuaristas, durante os anos de 1985 a 2020. As áreas de vegetação nativa foram reduzidas em 28% em relação ao ano de 1985, com a perda de 31,5 Mha de florestas da Amazônia brasileira e vegetação típica do Cerrado. A conversão da cobertura vegetal em outros usos da terra implicou na redução de 22% do estoque de carbono quando comparado com o primeiro ano de análise, o equivalente a 1.931,5 MgC emitidos. A agropecuária foi responsável pela perda líquida de 18% dos 22% observados para o estoque da vegetação, contribuindo com a emissão de 1.570,4 MgC na área de estudo.

Entre 1995 e 2005 a densidade de carbono da vegetação nativa sofreu alterações extremas culminando com a maior taxa de redução no estoque em relação à 1985, com valor igual a 10,56%, o que simboliza 913 MgC emitidos para a atmosfera. Do mesmo modo, o incremento da agropecuária foi maior neste período (1995-2005), auxiliando na manutenção do estoque em 177 MgC devido à presença de plantações agrícolas e gramíneas nas áreas destinadas aos respectivos usos, que sequestram e armazenam o carbono na região do ecótono. Contudo, assim como nos outros intervalos analisados, as atividades de agricultura e pecuária diminuíram em 8,51% o estoque de carbono da vegetação, emitindo 736 MgC e contribuindo com o aumento das taxas dos gases do efeito estufa na área de transição.

Por fim, destaca-se que é de suma importância para a conservação da área de transição entre os biomas Cerrado e Amazônia acompanhar o avanço da fronteira agrícola para destacar a relevância da definição apropriada da zona de transição entre estes biomas, além de incentivar a adoção de práticas agrícolas mais sustentáveis. Nesse sentido, o presente estudo mostrou que o entendimento do impacto das mudanças de uso e cobertura da terra e o monitoramento do estoque de carbono da biomassa acima do solo na região do ecótono podem auxiliar: 1) na definição de políticas públicas em ações voltadas para a mitigação de fatores que influenciam as mudanças climáticas globais; 2) o processo de definição de leis específicas para a área de transição que considerem a redefinição dos limites mediante caracterização florística e fitofisionômica corretas, tal qual enfatiza outros estudos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO FILHO, M.C; MENESES, P. R.; SANO, E. E. **Sistema de classificação de uso e cobertura da Terra na análise de imagens de satélite**. Revista Brasileira de Cartografia No 59/02, agosto de 2007.
- BALBINOT, R. V. R; MAFFRA, C. W. L.; BREUNIG, F. M. **Dinâmica do Estoque de Carbono em Floresta Ombrófila Mista Montana no Sul do Estado do Paraná, Brasil**. Enciclopédia Biosfera, 8(15). 2012.
- BRASIL. **Lei Nº 12.651 de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm)
- CARDOSO, D. J.; PARRON, L. M.; FRANCISCON, L. **Carbono de biomassa em floresta nativa e sistemas florestais como indicador de serviços ambientais**. Embrapa Florestas-Capítulo em livro científico (ALICE), 2015.
- CLEMENTS, F. E. **Research methods in Ecology**. Nebraska: University Publishing Co. p. 512, 1905.
- COUTINHO, L. M. **Biomass brasileiros**. São Paulo: Oficina de textos, p.128. 2016.
- DA SILVA JUNIOR, C. A.; de Medeiros G.C; ROSSI, F.S; DO VALE, J.C.E; DE LIMA, R.B.; LIMA, M.; DE OLIVEIRA-JUNIOR, J.F.; TEODORO, P.E.; SANTOS, R.C. **Remote sensing for updating the boundaries between the Brazilian Cerrado-Amazonia biomes**. Environmental Science & Policy.101:383–392. 2019.
- DURIGAN, G. **Métodos para análise de vegetação arbórea**. In: Culler Jr.L., Rudran, R., Valladares-Padua, C. (Eds.), Métodos de estudos em biologia da conservação e manejo da vida silvestre, 2ª ed. editora UFPR, Curitiba, pp. 455–472 Orgs. 2013.
- FAO. **State of the World's Forest**. Rome. 2011. Disponível em: <https://www.fao.org/3/i2000e/i2000e.pdf>.
- FEARNSIDE, M.P. **Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e consequências**. Megadiversidade, v. 1, n. 1, p. 113-123. 2005.
- FERNANDES, M. M. et al. **Assessment of land use and land cover changes and valuation of carbon stocks in the Sergipe semiarid region, Brazil: 1992–2030**. Land use policy, v. 99, p. 104795. 2020.
- FERREIRA, J. et al. **Degradação florestal na Amazônia: como ultrapassar os limites conceituais, científicos e técnicos para mudar esse cenário**. Embrapa Amazônia Oriental. 31 p. 2015.

GARCIA, A.S.; SAWAKUCHI, H.O.; FERREIRA, M.E.; BALLESTER, M.V.R. **Landscape changes in a neotropical forest-savanna ecotone zone in central Brazil: The role of protected areas in the maintenance of native vegetation.** J. Environ. Manag. 187, 16–23. 2017.

GARCIA, F. N., FERREIRA, L.G., LEITE, J.F. **Áreas Protegidas no Bioma Cerrado: fragmentos vegetacionais sob forte pressão.** In: Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE, Curitiba, pp. 4086-4093. 2011.

GIBBS, H.K.; BROWN S.; NILES J.O.; FOLEY J.A. **Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality.** Environ Res Lett. 2(4):045023. 2007

GOETZ, S. J. et al. **Mapping and monitoring carbon stocks with satellite observations: a comparison of methods.** Carbon balance and management, v. 4, n. 1, p. 1-7. 2009.

GORELICK, N.; HANCHER, M.; DIXON; M., ILYUSHCHENKO, S.; THAU, D; MOORE, R. **Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone.** Remote sensing of Environment, 202, pp.18-27. 2017.

IBGE (2019). **Biomass do Brasil 1:250.000.** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/informacoes-ambientais/15842-biomass.html?=&t=acesso-ao-produto>

IPCC. **Relatório Especial: Aquecimento Global de 1,5°C.** 2019. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/07/SPM-Portuguese-version.pdf>

KARK, S.; VAN RENSBURG, B. J. **Ecotones: Marginal or central areas of transition?** Israel Journal of Ecology & Evolution, v. 52, p. 29–53, 2006.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. **A conservação do Cerrado brasileiro.** Megadiversidade, v. 1, n. 1, p. 147-155. 2005.

LANDE, R. **Extinction risks from antropogenia, ecological and genetic factors.** In: L. F. Landweber e A. P. Dobson (eds.). Genetics and the extinction of species. Princeton University Press, Princeton. 1998.

LEITE, E. F.; ROSA, R. **Análise do uso, ocupação e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Rio Formiga, Tocantins.** Revista Eletrônica de Geografia, v. 4, n. 12, p. 90-106, 2012.

MARIMON, B. S.; LIMA, E. S.; DUARTE, T. G.; CHIEREGATTO, L.C.; Ratter, J. A. **Observations on the vegetation of northeastern Mato Grosso, Brazil.** IV. An

analysis of the Cerrado-Amazonian Forest ecotone. *Edinburgh Journal of Botany* 63, 323-341. 2006.

MARIMON, B. S.; MARIMON -JUNIOR, B. H.; FELDPAUSH, T. R.; SANTOS, C. O.; MEWS, H. A.; LOPEZ-GONZALEZ, G.; LLOYD, J.; FRAN CZAK, D. D.; OLIVEIRA, E. A.; MARACAHIPES, L.; MIGUEL, A.; LENZA, E.; PHLLIPS, O. L. **Disequilibrium and hyperdynamic tree turnover at the forest–cerrado transition zone in southern Amazonia**. *Plant Ecology & Diversity*, 37-41. 2014.

MARQUES, E.Q. **Redefinindo os limites Amazônia – Cerrado no Brasil: quanto e o que estamos perdendo?** Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação). Universidade do Estado de Mato Grosso – *campus* de Nova Xavantina. 36p. 2016.

MARQUES, E. Q.; MARIMON-JUNIOR, B. H.; MARIMON, B. S.; MATRICARDI, E. A.; MEWS, H. A.; COLLI, G. R. **Redefining the Cerrado–Amazonia transition: implications for conservation**. *Biodiversity and conservation*, 29, 1501-1517. 2019. <https://doi.org/10.1007/s10531-019-01720-z>

MARTIN, A. R.; DORAISAMI, M.; THOMAS, S.C. **Global patterns in wood carbon concentration across the world’s trees and forests**. *Nat. Geosci.* 11, 915. 2018. <https://doi.org/10.1038/s41561-018-0246-x>.

MEWS, H. A.; MARIMON, B. S.; RATTER, J. A. **Observations on the vegetation of Mato Grosso, Brazil. V.\* changes in the woody species diversity of a forest in the Cerrado–Amazonian Forest Transition zone and notes on the forests of the region**. *Edinburgh Journal of Botany* 69, 239–253. 2012

MILAN, E.; MORO, R. S. **O conceito biogeográfico de ecótono**. *Terra Plural*, v. 10, n. 1, p. 75–88, 2016.

MINSKI, G.L. **Caracterização dos ecótonos entre os biomas brasileiros Amazônia e Cerrado**. Dissertação (Mestrado em Ecologia). Universidade Federal de Santa Catarina. 74p. 2021.

MUTANGA, O. e KUMAR, L. **Google earth engine applications**. *Remote sensing*, 11(5), 591. 2019.

NAIMAN, R.J.; DECAMPS, H. **The ecology of interfaces: riparian zones**. *Annu Rev Ecol Syst*, v. 28, p. 621–658, 1997.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 4ª ed. São Paulo: Blucher, 2010.

PHILLIPS, O.L.; ARAGÃO, L.E.; LEWIS, S.L.; FISHER, J.B.; LLOYD, J.; LÓPEZ-GONZÁLEZ, G.; MALHI, Y.; MONTEAGUDO, A.; PEACOCK, J., QUESADA, C.A., VAN DER HEIJDEN, G. **Drought sensitivity of the Amazon rainforest**. Science 323, 1344–1347. 2009.

PROJETO DE MAPEAMENTO ANUAL DA COBERTURA E USO DO SOLO DO BRASIL (MAPBIOMAS). **Mapas das coleções**. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>

PROJETO DE MAPEAMENTO ANUAL DA COBERTURA E USO DO SOLO DO BRASIL (MAPBIOMAS). Códigos das classes da legenda e paleta de cores utilizadas na Coleção 6 do MapBiomias. Disponível em: [https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/downloads/Collection%206/Cod\\_Class\\_legenda\\_Col6\\_MapBiomias\\_BR.pdf](https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/downloads/Collection%206/Cod_Class_legenda_Col6_MapBiomias_BR.pdf)

PROJETO DE MAPEAMENTO ANUAL DA COBERTURA E USO DO SOLO DO BRASIL (MAPBIOMAS). **MapBiomias General “Handbook”**. Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD), Collection 6, version 1.0, 49 p. 2022.

PROJETO DE MAPEAMENTO ANUAL DA COBERTURA E USO DO SOLO DO BRASIL (MAPBIOMAS). **Land use change on threatened biomes in South America and Indonesia – Pressing challenges in the face of climate change**. 2022. Disponível em: <https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/Fact-sheet-vfinal-COP.pdf>

RATTER, J. A.; RICHARDS, P. W.; ARGENT, G.; GIFFORD, D. R. **Observations on the vegetation of northeastern Mato Grosso – The wood vegetation types of the Xavantina – Cachimbo Expedition Area**. Philosophical Transactions of the Royal Society, v.226, p.229-492, 1973.

REZENDE, A. V. **Diversidade, estrutura, dinâmica e prognose do crescimento de um cerrado sensu stricto submetido a diferentes distúrbios por desmatamento**. 229 p. Tese (Doutorado em Manejo Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2002.

RIVERO, S.; ALMEIDA, O.; ÁVILA, S.; OLIVEIRA, W. **Pecuária e desmatamento: uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia**. Nova Economia Belo Horizonte 19 (1), 41-66. 2009.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. Uberlândia: Ed. UFU. 248 p. 2007.

SAWYER, D. **Fluxos de carbono na Amazônia e no Cerrado: um olhar socioecossistêmico**. Sociedade e Estado, v. 24, p. 149-171. 2009.

SCHEFFER, M.; CARPENTER, S.R.; LENTON, T.M.; BASCOMPTE, J.; BROCK, W.; DAKOS, V.; VAN DE KOPPEL, J.; VAN DE LEEMPUT, I.A.; LEVIN, S.A.; VAN NES, E.H.; PASCUAL, M. **Anticipating critical transitions**. Science 338, 344–348. 2012..

SCHLESINGER, W. H. **Biogeochemistry: an analysis of global change**. 2. ed. Amsterdam: Academic Press. 1997.

SCHUBART, H.; FRANKEN, W.; LUIZÃO, F. **Uma floresta sobre solos pobres**. Ciência Hoje, 2(10): 26-32. 1984.

SNIF. **Estoque das Florestas – Carbono – Tabelas e Gráficos**. 2016. Disponível em: <https://snif.florestal.gov.br/pt-br/estoques-das-florestas/626-tabelas-e-graficos>

SOARES, L. C. **Limites meridionais e orientais da área de ocorrência da Floresta amazônica em território Brasileiro**. Rev. Bras. Geografia, v.1, p. 3-122, 1953.

SPAWN, S.A.; GIBBS, H.K. **Global Aboveground and Belowground Biomass Carbon Density Maps for the Year 2010**. ORNL DAAC, Oak Ridge, Tennessee, USA. 2020. <https://doi.org/10.3334/ORNLDAAC/1763>

SPAWN, S.A.; SULLIVAN, C.C.; LARK, T.J. et al. **Harmonized global maps of above and belowground biomass carbon density in the year 2010**. Sci Data 7, 112. 2020.

STAYER, A.C.; ARCHIBALD, S.; LEVIN, S.A.; 2011. **The global extent and determinants of savanna and forest as alternative biome states**. Science 334, 230–232.

UNITED STATES. Department of State. Office of the Geographer. **Detailed World Polygons (LSIB), South America, 2013 [map]**. No Scale Provided. Retrieved January 31, 2023, from <https://geodata.lib.utexas.edu/catalog/stanford-vc965bq8111>

ZELARAYÁN, M. L.; CELENTANO, D.; OLIVEIRA, E. C.; TRIANA, S. P.; SODRÉ, D. N.; MUCHAVISOY, K. H. M.; ROUSSEAU, G. X. **Impacto da degradação sobre o estoque total de carbono de florestas ripárias na Amazônia Oriental, Brasil**. Acta Amazônica, 45, 271-282. 2015.

ZHAO, Q.; YU, L.; LI, X.; PENG, D.; ZHANG, Y.; GONG, P. **Progress and trends in the application of Google Earth and Google Earth Engine**. Remote Sensing, 13(18), p.3778. 2021.