

ESTADO DE MATO GROSSO  
SECRETARIA DE ESTADO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO  
Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação

**Redefinindo os limites Amazônia-Cerrado no Brasil: quanto e o que  
estamos perdendo?**

**Eduardo Queiroz Marques**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação da Universidade do Estado de Mato Grosso – *Campus* de Nova Xavantina, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre.

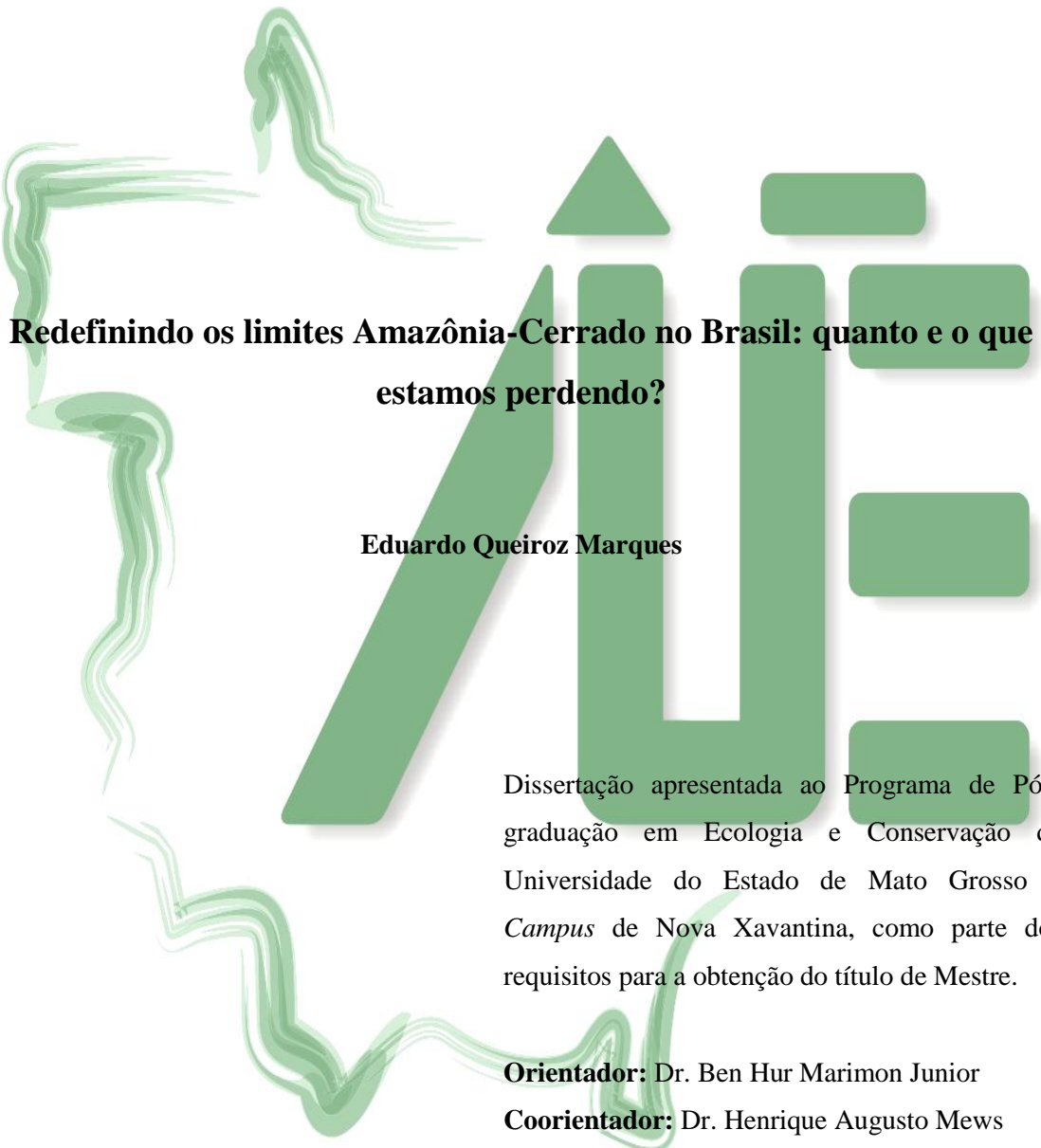
**Orientador:** Dr. Ben Hur Marimon Junior

**Coorientador:** Dr. Henrique Augusto Mews

Nova Xavantina–MT

Abril de 2016

ESTADO DE MATO GROSSO  
SECRETARIA DE ESTADO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO  
Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação



**Redefinindo os limites Amazônia-Cerrado no Brasil: quanto e o que estamos perdendo?**

**Eduardo Queiroz Marques**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação da Universidade do Estado de Mato Grosso – *Campus* de Nova Xavantina, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre.

**Orientador:** Dr. Ben Hur Marimon Junior

**Coorientador:** Dr. Henrique Augusto Mews

Nova Xavantina–MT

Abril de 2016

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

M375r Marques, Eduardo Queiroz (1990 - ).

Redefinindo os limites Amazônia – Cerrado no Brasil: quanto e o que estamos perdendo?. /Eduardo Queiroz Marques. Nova Xavantina: [s.n], 2016.

34 f.: il.

Orientador: Ben Hur Marimon Junior

Coorientador: Henrique Augusto Mews

Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) - Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT. Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, 2016.

1. Florestas. 2. Biodiversidade. 3. Cerrado-Amazônia I. Título.

CDU – 574 (817.2)

Bibliotecária: Thais Caroline Souza Silva – CRB 1/2921

## **Redefinindo os limites Amazônia-Cerrado no Brasil: quanto e o que estamos perdendo?**

**Eduardo Queiroz Marques**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Universidade do Estado de Mato Grosso como requisito parcial à obtenção do título de “Mestre”.

Aprovada em 01 de abril de 2016, pela BANCA EXAMINADORA:

---

Dr. Ben Hur Marimon Junior  
Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT  
Faculdade de Ciências Agrárias, Biológicas e Sociais Aplicadas  
Orientador

---

Dr. Ricardo Keichi Umetsu  
Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT  
Faculdade de Ciências Agrárias, Biológicas e Sociais Aplicadas  
Membro Titular

---

Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi  
Universidade de Brasília – UNB  
Departamento de Engenharia Florestal  
Membro Titular

---

Dr. Divino Vicente Silvério  
Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia - IPAM  
Membro Suplente

*Aos meus pais, Simone e Vilmar e à  
minha irmã Aninha, dedico.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais Simone e Vilmar e à minha irmã Ana Paula pelo apoio, carinho e força que me deram durante todo esse percurso. Também agradeço aos meus outros familiares que mesmo distantes sempre me apoiaram de alguma forma em minhas conquistas. Muito obrigado a todos os Marques e a todos os Queiroz.

Ao meu orientador, Prof. Ben Hur e ao meu coorientador, Prof. Henrique Mews, pela oportunidade, orientação, paciência, confiança e amizade.

Ao Prof. Eraldo Matricardi e ao Prof. Thiago Bernadi pelo auxílio no desenvolvimento da metodologia, coleta de dados e análises e também pelas valiosas sugestões ao trabalho.

À Universidade do Estado de Mato Grosso, que por meio do Programa de Ecologia e Conservação proporcionou o desenvolvimento deste trabalho e à CAPES pelo apoio financeiro concedido por meio de bolsa de estudos.

Aos meus velhos e novos amigos de Nova Xavantina, Paulo C. Gaspar, Suzi, Julio, Jefferson, James, Carlos, Marlucchi, Luciano Benneditto e Ana Clara pelo apoio e paciência.

À todos do Laboratório de Ecologia Vegetal, com os quais compartilhei muitos momentos de alegria, aprendizado, trabalho e amizade.

Aos mestrandos da turma de 2014, Ana Clara, Ana Carla, Leticia, Jefferson, Diego, Fernando, Pablo, Fagner, Daiana e Everton pela amizade, companheirismo e pela troca de experiência, pelos momentos de discussão sobre ciência e pelos bons e felizes momentos que passamos juntos. Valeu galera, vou sentir muita saudade de vocês, melhor e mais bonita turma do mundo.

## SUMÁRIO

Resumo.....	vi
Formatação.....	vii
Introdução .....	8
Material e Métodos.....	10
Resultados .....	15
Discussão.....	20
Conclusão.....	27
Referências bibliográficas.....	28
Apêndices.....	33

## **RESUMO**

A fronteira Amazônia–Cerrado é conhecida como Zona de Tensão Ecológica (ZTE) e coincide com o internacionalmente conhecido Arco do Desmatamento. Esse fato torna a ZTE de especial importância para estudos ecológicos e de conservação, uma vez que a conversão de suas áreas naturais em agricultura e pastagens ocorre de forma acelerada. Apesar disso, os mapeamentos coordenados por órgãos públicos tratam a ZTE como uma linha divisória abrupta entre os referidos biomas. Neste estudo, desafiamos o modelo tradicional de delimitação da fronteira Amazônia–Cerrado e revelamos que a transição é uma faixa muito mais ampla, complexa e sinuosa do que representado no mapeamento oficial. Nossos resultados revelaram o que estamos perdendo com este modelo e demonstraram que a visão tradicional de uma fronteira estreita entre os biomas não é a mais adequada para o correto reconhecimento e conservação da biodiversidade na ZTE. Mostramos ainda em nossa área de estudo que em 30 anos as florestas ecotonais têm sido mais convertidas para uso antrópico do que as florestas densas e savanas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Florestas Ecotonais, Mapeamento Oficial, Tensão Ecológica, Arco do Desmatamento, Conservação, Diversidade.



## **FORMATAÇÃO**

A presente dissertação foi redigida em formato de artigo científico e foi adequada às normas da revista *Biodiversity and Conservation*, a qual possui qualis A2 em Biodiversidade e fator de impacto de 2,365. O artigo proveniente desta dissertação será submetido para avaliação e publicação no Volume Especial do PPBio Biota do Cerrado na revista supracitada. Este artigo investiga a ZTE mediante técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento de imagens de satélite e redelimita parte de sua largura, revelando o quanto estamos perdendo de vegetação natural. Ele mostra também que a ZTE é uma faixa muito mais ampla, complexa e sinuosa do que revelado pela visão tradicional de limite estreito e abrupto entre os biomas. Ao final concluímos que o modelo oficial não é adequado para o reconhecimento e a conservação da ZTE. Também mostramos que em 30 anos as florestas ecotonais têm sido mais convertidas em uso antrópico que as florestas densas e savanas em nossa área de estudo.

## 1. Introdução

A Amazônia é a maior floresta tropical do mundo e ocupa aproximadamente metade do território brasileiro (49,3%), formando mais de 6.000 km de fronteira com o Cerrado, a maior e mais biodiversa savana do planeta. A transição entre estes dois biomas de dimensões continentais é conhecida como Zona de Tensão Ecológica (ZTE), devido à instável e permanente variação climática (RADAMBRASIL 1982) e à hiperdinâmica da vegetação (Marimon et al. 2014). Além destas peculiaridades ecológicas, a ZTE está situada na Fronteira Agrícola Brasileira, a qual é internacionalmente conhecida como Arco do Desmatamento (Nogueira et al., 2007; Nogueira et al. 2008). Estas condições tornam a ZTE especialmente dinâmica e complexa, dificultando a delimitação exata de suas fronteiras florísticas, tanto no espaço quanto no tempo. Por isso, esta região se torna particularmente importante para estudos ecológicos e de conservação, uma vez que a histórica conversão de suas áreas naturais em agricultura e pastagens ocorre de forma acelerada e contínua (Marimon et al., 2001; Alencar et al., 2004; Fearnside, 2005). Além disso, esta região tem sido fortemente afetada pela extração seletiva de madeiras e pelos incêndios florestais (Matricardi et al. 2010; Matricardi et al. 2013).

Apesar da grande complexidade, os mapeamentos coordenados por instituições públicas brasileiras tratam a ZTE como uma simples linha divisória abrupta entre a Amazônia e o Cerrado. Para a definição dos limites dos dois biomas, o Instituto Brasileiro de Estatística e Geografia (IBGE) utilizou arquivos gerados por radar e um vasto trabalho de campo do projeto RADAMBRASIL conduzido entre 1970 e 1985. As fronteiras de todos os biomas brasileiros definidas por esse projeto naquela época são utilizadas até hoje. Tal definição dos limites entre a Floresta Amazônica e o Cerrado teve sua importância e aplicações práticas por várias décadas, mas não parece refletir adequadamente a realidade do ecótono Amazônia/Cerrado para as demandas dos estudos ecológicos atuais. A ZTE pode ser atualmente caracterizada por uma faixa de transição muito mais ampla, complexa e meândrica do que os limites anteriormente considerados.. Ou seja, a visão tradicional de ecótono estreito e estável pode não estar sendo adequada para o reconhecimento e a conservação da biodiversidade na ZTE, pois nos parece mais razoável admitir a existência de um *continuum* com interpenetração das floras dos dois biomas e ocorrência de fitofisionomias hiperdinâmicas típicas desta zona de transição (Marimon et al. 2014).

Na última década, alguns estudos têm colocado em dúvida esta visão tradicional dos limites Amazônia/Cerrado ao revelar que existe uma transição floristicamente complexa (Marimon et al., 2006; Ivanauskas, 2008; Mews et al., 2012) e de dinâmica acelerada e instável (Marimon et al., 2014). Um dos primeiros a relatar os meandros e a complexidade florística da ZTE em termos semelhantes foi Soares (1953), que em um trabalho clássico determinou o espaço geográfico da Floresta Amazônica. Nessa região, há frequente contato entre Floresta

Ombrófila, Floresta Estacional e formações savânicas do Cerrado (Ivanauskas, 2008), o que pode explicar parcialmente a grande dificuldade de mapear e definir a ZTE de forma compatível com a realidade encontrada em campo. Além disso, devemos levar em conta a dinâmica de expansão e retração das florestas e das savanas ao longo do tempo histórico, como sugerido por Ab'Saber (2002) e verificado em campo por Marimon et al. (2006) após o registro de expansão de 7 km da floresta sobre a savana em apenas 35 anos, entre as décadas de 1960 e 2000, com base em levantamentos pioneiros de Ratter et al. (1973).

Todas essas características desta região de contato entre savana e floresta dificultam um mapeamento detalhado por instituições nacionais ou internacionais, públicas ou privadas. Por esse motivo, os estudos realizados na ZTE ainda são raros (Mews et al., 2012) e voltados principalmente para o uso da terra. Por exemplo, Alencar et al. (2004) estimaram que as florestas de transição na região de contato Amazônia/Cerrado cobriam originalmente 362.500 km<sup>2</sup> (41%) do Estado de Mato Grosso. Hoje, essas florestas passaram por redução de 62% de sua área original em função da pecuária, do cultivo de grãos, da extração madeireira, da construção de hidrelétricas e da produção de etanol de cana-de-açúcar (Brando et al., 2013). Em consequência, as paisagens naturais são transformadas em remanescentes de vegetação que são reduzidos a pequenas manchas ou corredores naturais (Metzger, 2001).

Outro agravante para a preservação da ZTE é a legislação atual, que desconsidera as características individuais desta região de transição e utiliza apenas um limite arbitrário para classificar as áreas da região como pertencentes ao bioma Amazônia ou Cerrado, separadamente. De acordo com a legislação brasileira, propriedades rurais pertencentes à Amazônia devem preservar 80% da vegetação nativa e as localizadas no Cerrado apenas 35%, enquanto para a ZTE não há nenhuma lei específica. Além disso, as formações da transição são altamente vulneráveis ao fogo, o qual atinge florestas e savanas indiscriminadamente e com muita frequência (Alencar et al., 2004; Silvério et al., 2013), representando uma ameaça adicional aos ecossistemas da ZTE. Por esse motivo, o uso da terra e a ocorrência de incêndios, fragmentam e dividem áreas contínuas de vegetação, tornando a paisagem nativa da ZTE um mosaico composto por fragmentos vegetacionais esparsos e pouco conectados entre si.

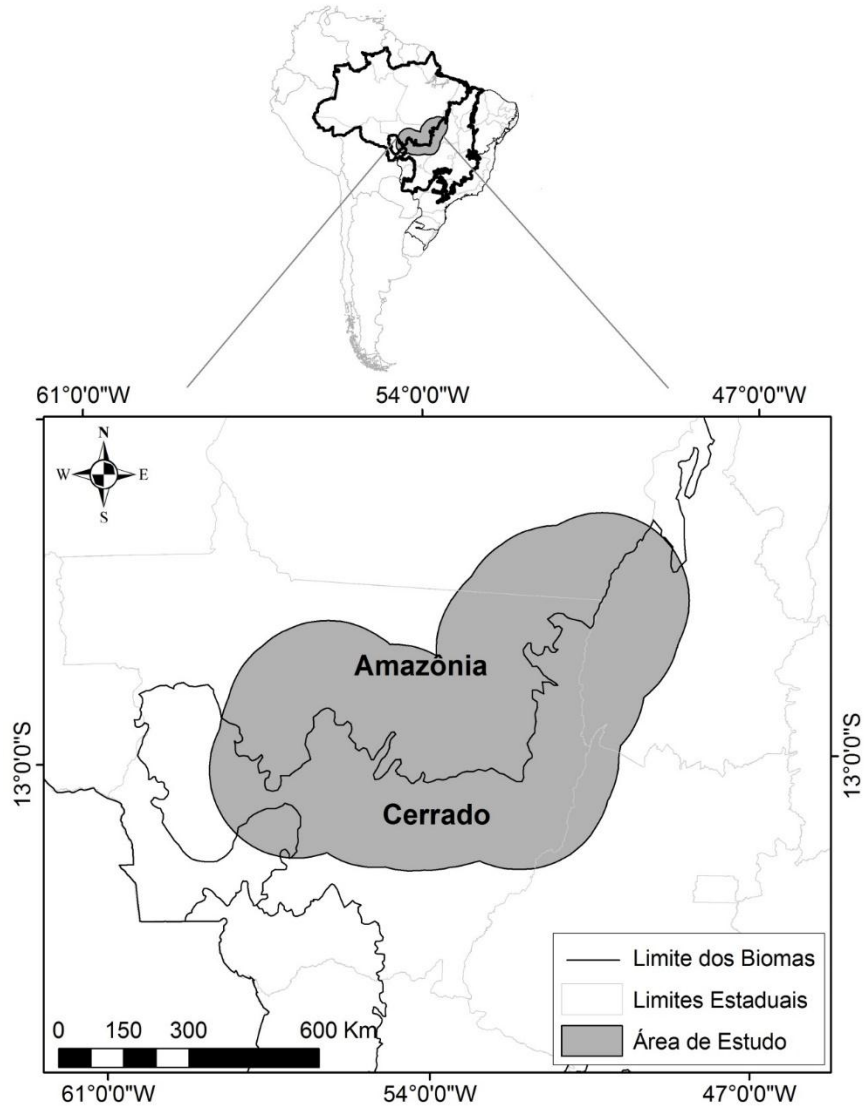
O cenário atual de fragmentação da vegetação nativa da região é preocupante, pois pode causar perda de conectividade entre os biomas Amazônia e Cerrado e, conseqüentemente, perda de biodiversidade por isolamento (Marimon et al., 2014) e perdas de funções ecossistêmicas, com o severo comprometimento da biodiversidade da transição. Além disso, a hiperdinâmica da vegetação das ZTE (Marimon et al. 2014) faz com que o processo de sucessão seja mais rápido para as florestas e savanas desta região periférica em comparação as áreas nucleares da Amazônia e Cerrado. Portanto, essa grande região de contato savana-floresta requer mais cuidados pelo nível de ameaça que vem sofrendo e por sua importância para o clima e a biodiversidade regional (Alencar et al., 2004).

No presente trabalho, usamos imagens de satélite para mapear uma grande região central e representativa da ZTE (613 km<sup>2</sup>) e determinar o tamanho da fronteira entre a Amazônia e o Cerrado. Buscamos identificar a faixa de transição da ZTE e os impactos sobre a vegetação nativa, sendo que os resultados desta pesquisa poderão ser úteis para a definição de estratégias políticas e científicas para conservação dos recursos naturais da região de estudo. Assim, neste estudo, fomos guiados por três questões: 1) qual é a área dessa faixa de transição? 2) Qual foi a porcentagem da vegetação na ZTE convertida em uso antrópico? 3) Quais os impactos do desmatamento sobre as florestas e savanas?

## **2. Material e Métodos**

### **2.1. Definindo a Faixa de Transição**

A área do modelo da faixa de transição foi definida a partir de observações em parcelas de inventários da vegetação do Laboratório de Ecologia Vegetal - LABEV, da UNEMAT, *Campus* de Nova Xavantina-MT e de outros trabalhos realizados na Zona de Tensão Ecológica (ZTE). Os resultados dos referidos inventários estão disponíveis na base de dados *ForestPlot* da Rede *RAINFOR* ([www.forestplot.net](http://www.forestplot.net)). Os pontos amostrais dos inventários foram plotados em um mapa, identificando a tipologia vegetal de cada um deles (florestas ou savanas), criando desta forma uma área de controle. Assim, área de estudo compreende o limite Amazônia/Cerrado em território brasileiro, onde há contato entre formações florestais densas, de florestas ecotonais, e de savana. A área total do estudo abrangeu uma grande faixa delimitada por um *buffer* de 200 quilômetros da linha divisória dos biomas definida pelo IBGE (2004), representando uma variação de 8 graus de latitude e 12 graus de longitude, compreendendo os estados de Mato Grosso, Pará, Tocantins e Goiás (Figura 1).



**Figura 1:** Localização da área de estudo na zona de transição Amazônia-Cerrado no Brasil.

Para a classificação, utilizamos imagens do satélite Landsat-5 TM, para o ano de 1984, com *pixels* de 30 metros de resolução espacial, ocupando área de 900 m<sup>2</sup> por *pixel* mediante as bandas 1 a 5 e 7 do espectro visível e do infravermelho disponíveis para os respectivos sensores. As imagens foram adquiridas gratuitamente no *site* do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Para classificação do uso e cobertura da terra a partir dos dados de sensores remotos adotamos técnicas de classificação automática supervisionada. As imagens disponibilizadas pelo INPE estão georreferenciadas em Sistema de Projeção UTM, *Datum* WGS-84. Classificamos as imagens individualmente nessa projeção e posteriormente projetamos para o Sistema de Projeção Cônica de Albers, *Datum* SAD69, o que possibilitou a elaboração do mosaico para

toda a área de estudo. Essa conversão é necessária em função do tamanho da área de estudo, que abrange mais de uma Zona UTM.

## **2.2. Classificando a Faixa de Transição**

### **2.2.1. Correção Radiométrica da Imagem**

Para refinar a imagem executamos a correção radiométrica, que elimina os ruídos causados por gases atmosféricos e partículas suspensas. Esse processo é necessário para normalizar eventos que diminuem a qualidade da captura do sensor do satélite, como a variação da distância, a incidência e o ângulo do sol em relação à Terra (Matricardi et al., 2010) e os deslocamentos causados por variações na plataforma do sensor que captura a cena. Esta correção envolve a conversão do número digital em radiância e subsequentemente em reflectância (Matricardi et al., 2013). Cada cena utilizada possui uma característica diferente para calibração. Para lidar com essa condição, utilizamos o *software* ERDAS 2011 (Erdas, 2011) e seguimos os dados dos coeficientes de calibração disponíveis nos metadados que acompanham os arquivos da imagem.

### **2.2.2. Análise de Mistura Espectral (SMA)**

As frações de imagens derivadas da Análise de Mistura Espectral (SMA) foram utilizadas como entrada para a classificação de imagem supervisionada. As frações de imagens da SMA foram geradas a partir da identificação de *pixels* puros de cada componente, utilizando o *software* ENVI 4.1 (ENVI, 2004). Adams et al. (1995) afirmam que as proporções de mistura espaciais (frações de classe ou abundância) de cada *pixel* de dados de refletância do Satélite Landsat TM podem ser estimadas pela SMA, que muda de *pixel* a *pixel*. O modelo SMA assume que as assinaturas espectrais ou *endmembers* (espectros puros) correspondem às *endmembers* físicas que mostram abundância máxima em cena com a imagem (Meneses e Almeida, 2012). Em nossa análise, estimamos quatro *endmembers*: solo, sombra, vegetação verde e vegetação não fotossintetizante (vegetação morta ou seca) derivadas do SMA, com base em classes de materiais de superfície e em seis bandas (1-5 e 7) de imagens Landsat-5 TM. Usamos os membros finais selecionados para resolver o modelo SMA (Matricardi et al., 2013).

A identificação dos *endmembers* espectrais é crucial para a obtenção de bons resultados de mistura espectral (Meneses e Almeida, 2012). Por isso, utilizamos o Índice de Pixel Puro ou *Pixel Purity Index* (PPI) para selecionar os *endmembers* para as suas devidas classes. Dois subconjuntos de imagens de  $502 \times 502$  *pixels* representaram a variedade de uso da terra e cobertura da terra do local de estudo e foram usados como contribuição para o algoritmo do PPI

para cada cena de Landsat analisada. Desta forma, a partir dos *pixels* puros selecionados nos resultados do PPI e situados na imagem Landsat foi possível extrair o modelo SMA (Matricardi et al., 2013). Por fim, utilizamos o modelo SMA para classificar as diferentes coberturas e uso do solo da ZTE e para produzir o mapeamento final.

### 2.2.3. Classificação das imagens

Empregamos a classificação automática supervisionada para gerar um arquivo *raster* de cinco classes de cobertura da terra (Floresta densa, Floresta ecotonal, Savana, Uso antrópico e Água). A classe Floresta densa representa as Florestas Estacionais, Florestas Ombrófilas e Florestas Ombrófilas Mistas e a classe Uso antrópico representa o desmatamento e outros processos de mudança da cobertura da terra. O *software* utilizado para essa classificação foi o ERDAS 2011 (Erdas, 2011), mediante a ferramenta *Signature editor*. Após a classificação, aplicamos um filtro majoritário para retirada de *pixels* isolados, que são ruídos na imagem e representam erro de classificação. Depois, recodificamos todas as imagens para construir o mosaico da classificação. Posteriormente, no mesmo *software*, recondicionamos e reclassificamos algumas áreas manualmente. Para a confirmação e reclassificação dessas áreas, foram levantados dados de campo com base nos levantamentos prévios de vegetação (inventários e reinventário) desde 1996, totalizando hoje 57 parcelas permanentes de 1 ha do Laboratório de Ecologia Vegetal da Universidade do Estado de Mato Grosso (Marimon et al. 2014).

### 2.3. Delimitando a faixa de floresta ecotonal

Para definirmos a área de transição geramos um filtro através da imagem classificada. Através de grids de 5 km<sup>2</sup> sobre a classificação, extraímos mais uma vez as classes para cada grid usando a seguinte equação:

$$CL = 1 \text{ se } a_{fd} \geq 50\%$$

$$CL = 1 \text{ se } a_s \geq 50\%$$

$$CL = 1 \text{ se } a_{fe} \geq 50\%$$

$$CL = 1 \text{ se } a_u \geq 50\%$$

$$CL = 1 \text{ se } a_{nc} \text{ (nc = fe)} \geq 50\%$$

Onde:

**CL** é a classe de célula, **a<sub>fd</sub>** é a porcentagem de floresta densa, **a<sub>s</sub>** é a porcentagem de área de savana, **a<sub>fe</sub>** é a porcentagem de área de floresta ecotonal, **a<sub>u</sub>** é a porcentagem de área de uso antrópico e **a<sub>nc</sub>** é a porcentagem de área onde nenhuma classe dominou (Apêndice 1). Utilizamos o resultado desse filtro para extrair a floresta ecotonal (transição), onde excluimos as

áreas abaixo de 50 km<sup>2</sup> para reduzir as possibilidades de erro. Após transformarmos em um arquivo vetorial utilizamos a ferramenta *smooth* do ArcGis 10.1 (ESRI, 2011) para deixar o arquivo com ângulos menos abruptos (Apêndice 2). Ajustes manuais também foram necessários para corrigir ângulos abruptos. Através do resultado do *smooth* e utilizando a escala fixa de 1:500.000 geramos outro arquivo vetorial, feito manualmente, com o intuito de corrigir áreas que o filtro não detalhou e conectar, através de um ajuste fino, áreas não conectadas pelo filtro.

#### **2.4. Análise do desmatamento da vegetação na Faixa de Transição**

Para a análise do desmatamento utilizamos os arquivos vetoriais de desmatamento do PRODES – Projeto de Estimativa do Desflorestamento da Amazônia, disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que possui dados do desmatamento de 2014 para toda Amazônia Legal. Utilizamos também os arquivos do PROBIO – Projeto de Conservação e Utilização da Diversidade Biológica Brasileira, disponibilizado pelo Ministério do Meio Ambiente para o ano de 2010. O PROBIO possui dados de cobertura e uso da terra para todo o Bioma Cerrado.

Por meio do *software* ArcGis 10.1, selecionamos apenas as classes de desmatamento e antropização do PROBIO, que correspondem ao nosso interesse. Após essa seleção unimos os vetores por meio da ferramenta *dissolve*, gerando um arquivo único que compreendeu toda a área. Depois, transformamos o arquivo vetorial em um arquivo *raster*, utilizando a ferramenta de conversão *poligon to raster* também do *software* ArcGis 10.1. Para quantificar o desmatamento e a perda de vegetação plotamos esse arquivo sobre o mosaico da classificação da área de estudo e fizemos uma contagem automática de *pixels* da área desmatada mediante a tabela de atributos. Conhecendo a área de cada *pixel* (900 m<sup>2</sup>), somamos todos e depois convertemos o valor resultante em km<sup>2</sup>.

#### **2.5. Resumo dos métodos**

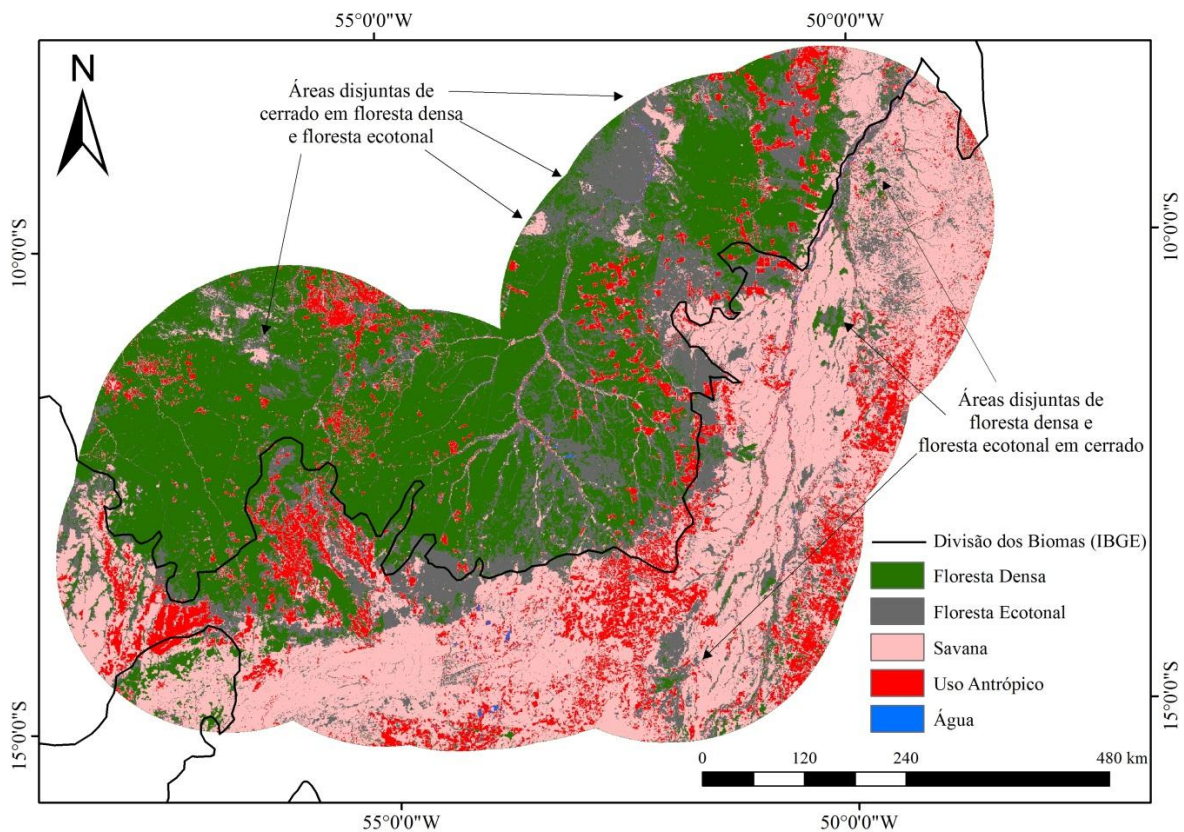
O estudo foi desenvolvido em parte da transição compreendendo os Estados de Mato Grosso, Pará, Tocantins e uma pequena parte de Goiás. Para a escolha da área de estudo usamos as parcelas permanentes de inventário de vegetação do LABEV – Laboratório de Ecologia Vegetal da UNEMAT de Nova Xavantina-MT. A classificação da ZTE foi feita através de imagens do satélite Landsat 5 (sensor TM) para o ano de 1984, adquiridas do site do INPE. Antes de classificar as imagens fizemos a correção radiométrica das imagens e a seleção dos pixels puros, que são pré-processamentos necessários para o refinamento da imagem e redução dos ruídos, aumentando assim a acurácia da classificação. Após os pré-processamentos foi feita a classificação supervisionada através do software ERDAS 2011 (Erdas, 2011), gerando cinco



classes (Floresta densa, Floresta ecotonal, Savana, Uso antrópico e Água). Houve a necessidade de filtrar as imagens e recondicionar algumas áreas manualmente. Ao final da classificação fizemos a quantificação do desmatamento, onde plotamos o desmatamento atual quantificado pelo PRODES e pelo PROBIO na imagem de 1984 e contamos os pixels de cada classe e recalculamos em km<sup>2</sup>. Para delimitar a faixa da floresta ecotonal, geramos um filtro com grids de 5 km<sup>2</sup>, que usamos para extrair a floresta ecotonal. Com o resultado do filtro, através da ferramenta *smooth* do ArcGis 10.1, geramos um arquivo vetorial que utilizamos como base para fazer uma aproximação mais detalhada na escala de 1:500.000.

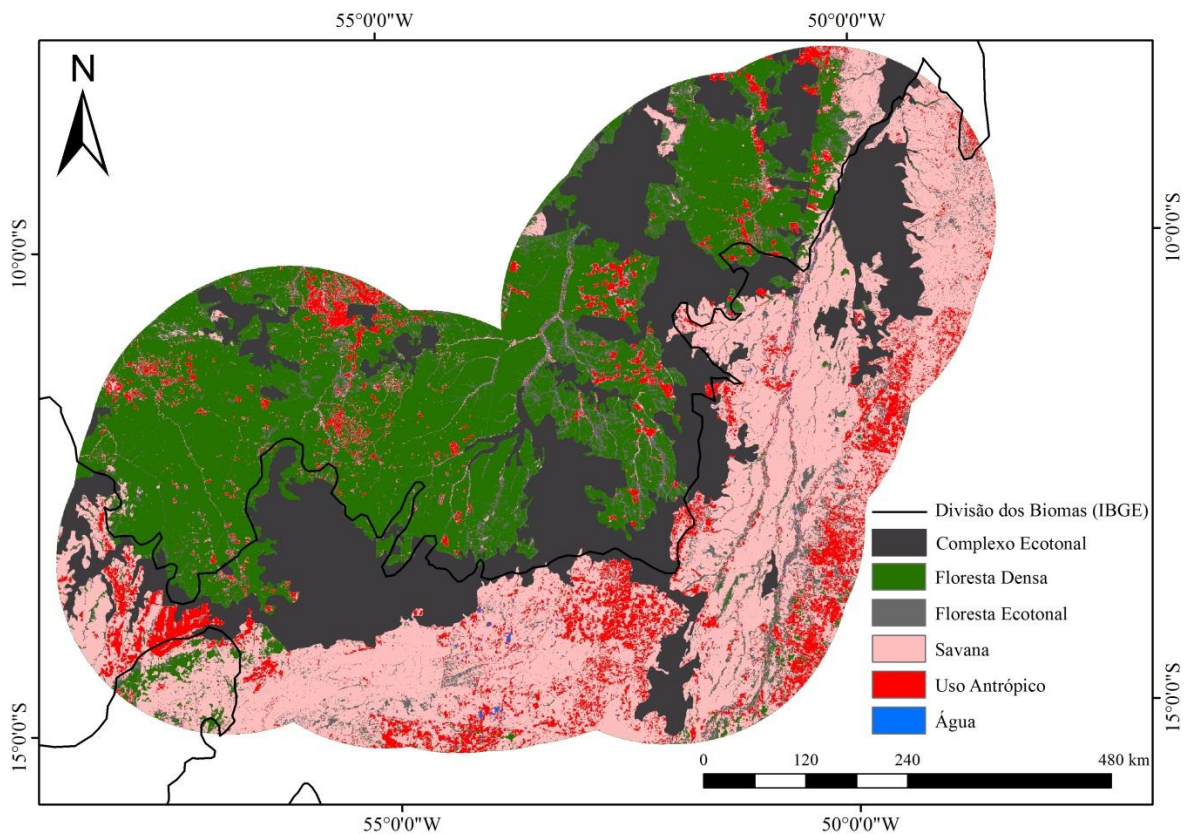
### **3. Resultados**

Nossos resultados revelaram a existência de uma complexa faixa de transição, com grande variação em largura (de ~40 km a ~250 km) e constituída por diversos mosaicos vegetacionais onde predominam as formações savânicas e florestais. Além disso, mapeamos 719 áreas disjuntas (>5 km<sup>2</sup>) de florestas densas e florestas ecotonais em domínio de cerrado e também 151 áreas disjuntas de cerrado *sensu stricto* (>5 km<sup>2</sup>) em áreas de domínio florestal (Figura 2). Verificamos ainda que a faixa de transição ocorre ao longo de toda a área de estudo (Figura 2) e não constitui faixa homogênea de vegetação e não possui definição clara de limites entre os dois Biomas. Pelo contrário, as florestas e savanas se alternam na paisagem, não apresentando largura exata e nem distribuição equitativa das diferentes fitofisionomias. Em muitos locais observamos intrusões de florestas acompanhando as áreas mais baixas do Vale do Rio das Mortes e do Rio Araguaia, desde o começo da Planície Sedimentar do Bananal (*sensu lato* Radambrasil 1982), ao sul, até seu extremo norte. Em outras áreas foi possível observar o cerrado ocorrendo em áreas disjuntas em domínios de florestas ecotonal, cerradões e florestas densas.



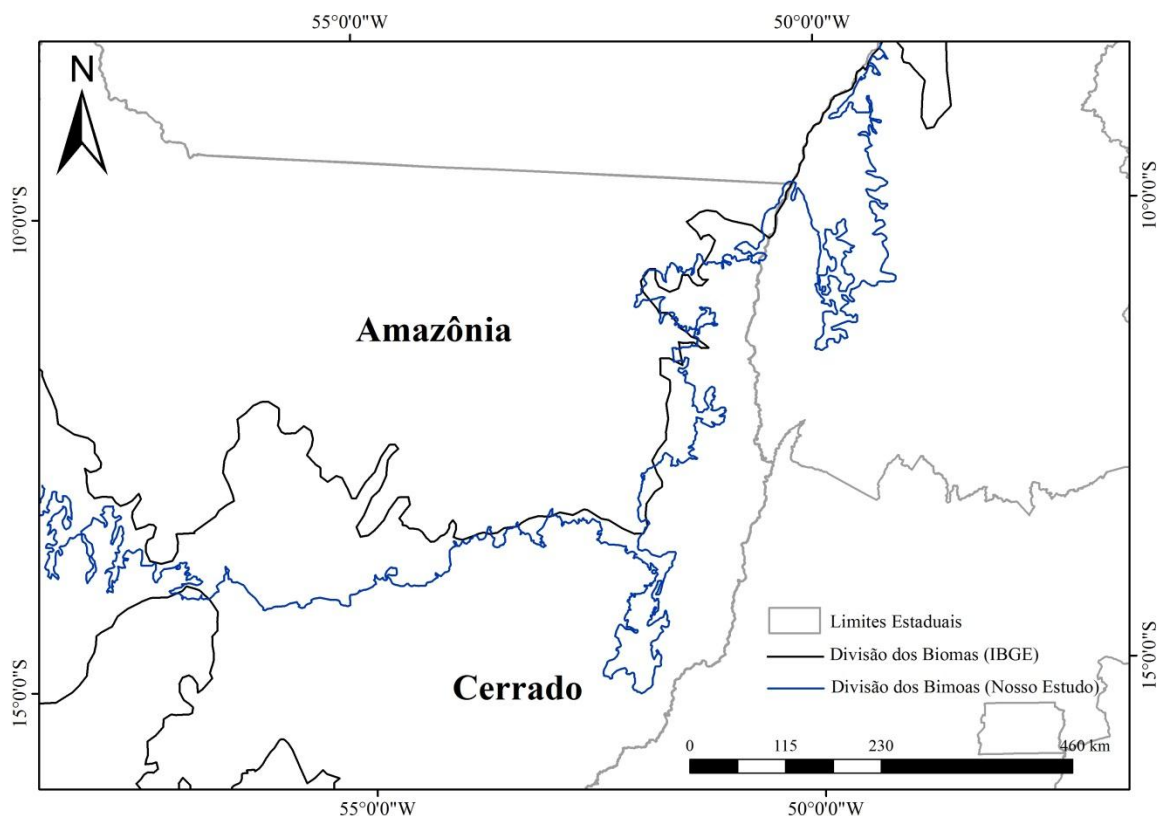
**Figura 2:** Classes de cobertura da terra em 1984 e as inúmeras reentrâncias, meandros e manchas disjuntas de savana em áreas de floresta densa e de floresta ecotonal na Zona de Tensão Ecológica Amazônia-Cerrado no Brasil em 1984. Nota-se que a divisão dos biomas segundo RADAMBRASIL (1982) não confere com a distribuição de florestas e savanas na transição Amazônia-Cerrado.

O resultado do mapeamento final mostra um complexo ecotonal de 152.180 km<sup>2</sup> com 16 polígonos, sendo o maior com 107.279 km<sup>2</sup> e o menor com 151 km<sup>2</sup> (Figura 3). Este complexo ecotonal Amazônia-Cerrado abrange uma faixa da transição maior do que tradicionalmente indicado pela literatura e pelo mapeamento oficial (e.g. RADAMBRASIL, 1982; IBGE, 2004).



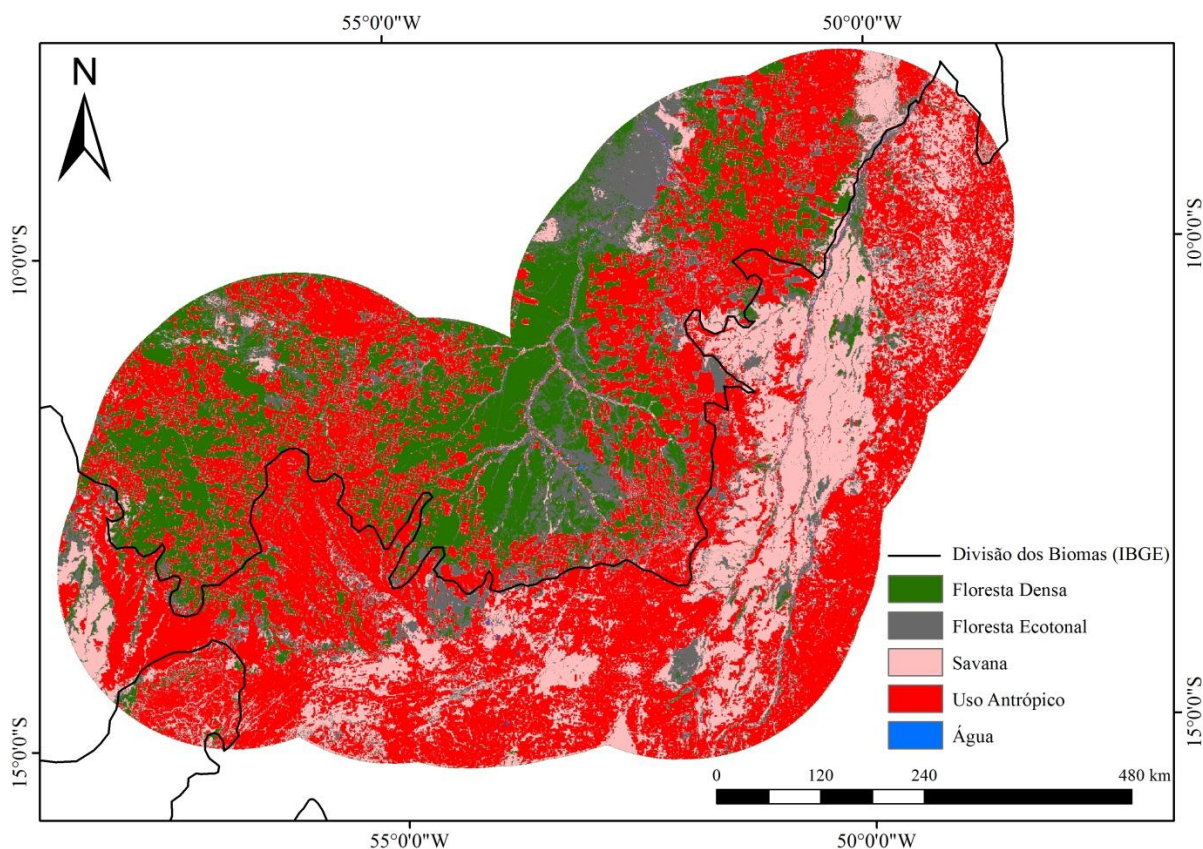
**Figura 3:** Classificação do uso e cobertura da terra na Zona de Tensão Ecológica Amazônia-Cerrado no Brasil em 1984, revelando um Complexo Ecotonal (ajuste fino), onde misturam-se florestas densas com florestas ecotonais. Nota-se que a linha de divisão entre biomas segundo RADAMBRASIL (1982) e IBGE (2004) na maioria das vezes adentra em parte da floresta densa e ecotonal, classificando-as equivocadamente como savanas.

Quando sobrepomos a linha do IBGE sobre o complexo ecotonal na área de estudo vemos que aproximadamente 50% do ecótono, ou seja, 76.555 km<sup>2</sup> de área de floresta ecotonal, estavam dentro do domínio do Bioma Cerrado. Tal resultado apresenta implicações legais, considerando que as autorizações para o desmatamento são menos restritas nas propriedades privadas no Bioma Cerrado. Observou-se também que a linha original definida pelo IBGE (2.615 km ao longo da área do presente estudo) é quase três vezes menor do que a estimada em nosso estudo (6.420 km) (Figura 4).



**Figura 4:** Novo limite identificado para o Bioma Amazônia/Cerrado na área de estudo: linha IBGE e nova delimitação deste estudo, mostrando a presença de florestas ecotonais no domínio do Bioma Cerrado.

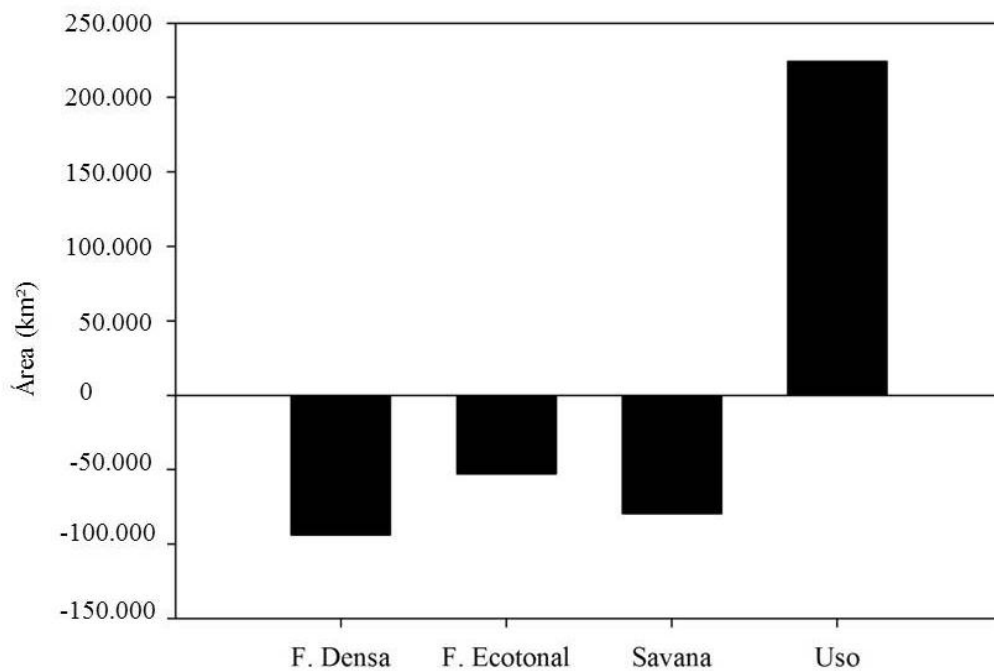
Em relação ao uso da terra, os resultados deste estudo revelaram que em 1984 as áreas desmatadas se concentravam em sua maioria em ambientes que eram originalmente florestas ecotonais. Neste período, as florestas ecotonais, as florestas densas e as savanas representavam 23%, 42% e 35% da área de estudo, respectivamente (Tabela 1). No período de 30 anos (1984 a 2014), observou-se que o desmatamento avançou indiscriminadamente sobre todas as classes de vegetação analisadas na área de estudo (Figura 5). Com isso, em 2014 a porcentagem de áreas de floresta densas, floresta ecotonais e savanas convertidas para uso antrópico passaram a ser 39,91%, 41,19% e 40,85%, respectivamente (Tabela 1). As áreas classificadas neste estudo como floresta densa foram as mais afetadas pelo desmatamento na região de estudo, estimado em 93.115 km<sup>2</sup> de áreas convertidas para os diferentes usos antrópicos. Contudo, a classe mais afetada relativamente pelo desmatamento foi a floresta ecotonal, que perdeu aproximadamente 41% de sua área total no período e área de estudo (Figura 6).



**Figura 5:** Classes de uso e cobertura da terra na Zona de Tensão Ecológica Amazônia-Cerrado no Brasil em 2014. Nota-se o forte avanço da fronteira agrícola em direção ao Norte, com extensas áreas de vegetação nativa convertidas principalmente em pastagens e lavouras de grãos.

**Tabela 1:** Alteração no uso e cobertura da terra entre 1984 e 2014 na Zona de Tensão Ecológica Amazônia-Cerrado no Brasil.

Classe	1984 km <sup>2</sup> (%)	2014 km <sup>2</sup> (%)	Variação (km <sup>2</sup> )	Variação (%)
Floresta Densa	233.267 (38%)	140.152 (22,9%)	-93.115	-39.9
Floresta Ecotonal	127.434 (20,8%)	74.933 (12,2%)	-52.500	-41.2
Savana	191.948 (31,3%)	113.523 (18,5%)	-78.424	-40.9
Uso antrópico	57.537 (9,4%)	282.352 (46,0%)	+224.812	+390.7
Total	613.261	613.261	-	-



**Figura 6:** Dinâmica do uso e cobertura da terra no período de 1984 a 2014 na Zona de Tensão Ecológica Amazônia-Cerrado no Brasil.

#### 4. Discussão

Nossos resultados demonstraram que a divisão dos biomas Amazônia e Cerrado na ZTE não pode ser definida por uma simples e bem delimitada linha, mas sim por uma complexa faixa de transição que surpreendentemente pode atingir até ~250 km de largura. Ficou evidente que esta zona ecotonal é um complexo mosaico de fitofisionomias savânicas e florestais distribuído ao longo de uma vasta região na porção sul da Floresta Amazônica. Estas informações estão em conformidade com as descrições pioneiras de Soares (1953), com os levantamentos da expedição Xavantina-Cachimbo no final dos anos 1960 (Ratter et al. 1973), com trabalhos de descrição da vegetação feitos por Ratter (1992) e Ratter et al. (1997) e com os estudos botânicos e relatos fitofisionômicos de Marimon et al. (2006) e Marimon et al. (2014).

Uma estimativa de Alencar et al. (2004) revelou que a área original de florestas de transição era de 362.500 km<sup>2</sup>, correspondendo a 41% da superfície do estado de Mato Grosso. Nossa classificação de cobertura da terra representa o período de abertura da fronteira agrícola ao sul da Amazônia em meados dos anos 70, iniciada com a imigração dos sulistas para a região centro-oeste (Cunha 2006). Este processo intenso de ocupação de terras para a agricultura explica o forte ritmo de desmatamento, especialmente sobre as terras de florestas ecotonais e de transição, onde o solo podia prover nutrientes suficientes para as primeiras safras de arroz de sequeiro sem necessidade de calagem a adubação, cobrindo assim parte dos custos de abertura

das novas terras. Este padrão de colonização no Arco do Desmatamento, focando primeiramente as terras de floresta, aliado ao mapeamento tradicional que superestimou as áreas de domínio do Bioma Cerrado, provavelmente foi o que mais contribuiu para a rápida conversão de florestas em lavouras e pastagens ao longo dos primeiros 30 anos de ocupação.

Nossos resultados apontaram para uma subestimativa de 245,5% no comprimento da linha que marca a ZTE e indicaram que a ZTE é muito mais meândrica (sinuosa) do que originalmente proposto pela classificação oficial (Figura 4). Esses mapeamentos trataram a ZTE como uma linha divisória simples e brusca entre os dois biomas (largura), o que não reflete a realidade da transição e desconsidera os diversos meandros e intrusões de florestas para o interior dos domínios das savanas e vice-versa. Este padrão afetou drasticamente a estimativa do comprimento da ZTE, uma vez que os meandros aumentam sobremaneira as distâncias. Há um componente forte desta subestimativa original da ZTE que pode resultar em implicações para a conservação da biodiversidade, uma vez que a maior parte do complexo ecotonal foi perdida pelo desmatamento. Alguns estudos recentes sobre a vegetação arbórea têm demonstrado diversos aspectos da complexidade da ZTE e alertado para o fato da transição ser muito mais biodiversa e rica em ecossistemas do que cada bioma em separado (Marimon et al., 2006; Mews et al., 2012; Marimon et al., 2014). Dentre as observações de campo mais importantes, fica evidente que a largura da faixa varia muito de ponto a ponto ao longo da extensa zona do contato entre Amazônia e Cerrado, aumentando em muito o grau de dificuldade de se estabelecer o real limite entre ambos biomas e expondo tais ecossistemas à fragilidade da Lei e consequente dificuldade em preservar as peculiaridades e variações finas da vegetação.

Nosso estudo tornou evidente que a transição entre o Cerrado e a Amazônia é fortemente marcada por um complexo mosaico vegetacional de savanas, florestas de transição (Marimon et al. 2006), cerradões (Marimon-Junior & Haridasan 2005), florestas de galeria e savanas hipersazonais inundáveis (Marimon et al. 2012). Esta complexidade vegetacional provavelmente está ligada à diversidade geológica e geomorfológica da região, onde diversos fatores ambientais, como fertilidade, umidade e textura do solo (Marimon-Junior & Haridasan 2005), topografia, relevo e hidrografia convergem para produzir uma grande diversidade de habitats (RADAMBRASIL, 1982). O resultado é a formação de inúmeros recortes, meandros e reentrâncias dos diferentes tipos de vegetação, marcando frequentes interpenetrações de formações florestais nos domínios das savanas e vice-versa.

Em um dos primeiros trabalhos que determinaram o espaço geográfico da Floresta Amazônica, ainda em meados do século passado, Soares (1953) atentou para a existência dessa complexidade vegetacional na transição Amazônia/Cerrado, onde fitofisionomias de savana e floresta dividiam fortemente a paisagem. O autor relatou minuciosamente essas condições especificamente para a borda sul da Amazônia e descreveu as intrusões florestais nos domínios do cerrado e áreas savânicas disjuntas nos domínios da floresta. Essas descrições botânicas dos

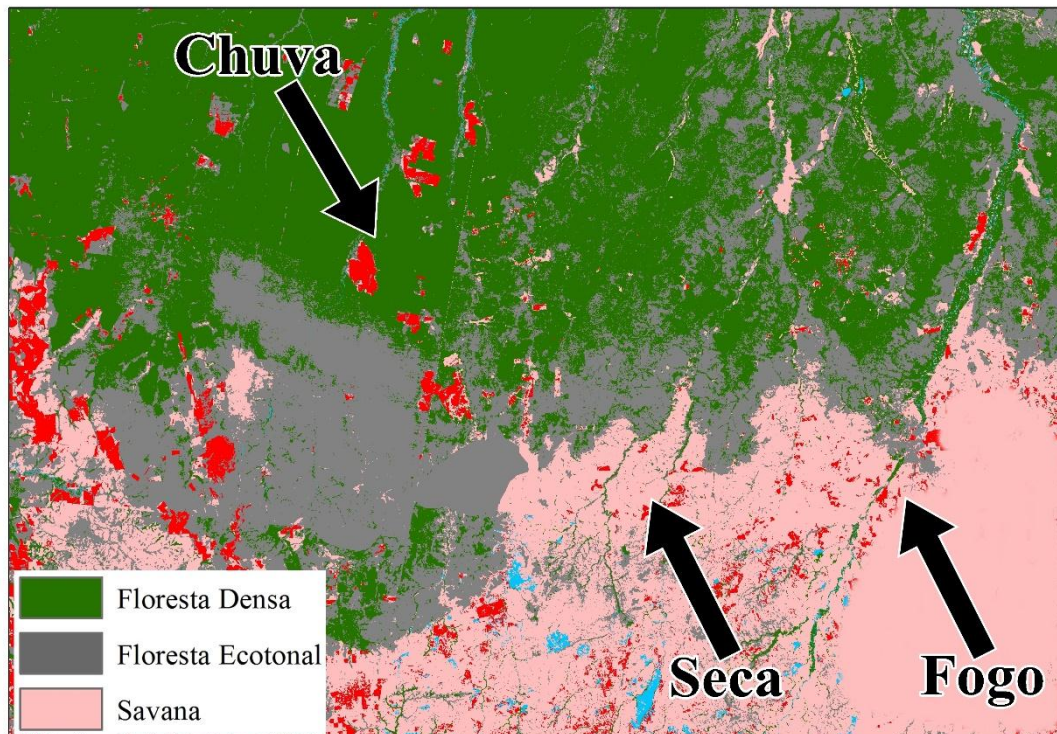
tipos vegetacionais da transição Amazônia/Cerrado foram feitas pelo referido autor durante uma época em que os desmatamentos praticamente inexisteriam na região. Soares (1953) ainda destaca que ao se avançar a partir do norte em direção ao sul, na zona de contato com o Cerrado, a Floresta Amazônica torna-se cada vez menos densa devido à influência do clima sazonal.

Uma das possíveis explicações para a complexidade vegetacional da ZTE aqui estudada e relatada nos estudos pioneiros dos anos 1950 e 60 é o processo histórico de eventos que funcionam como mecanismos de avanço e retração da floresta e do cerrado ao longo de um histórico de mudanças climáticas. Essa condição foi primeiramente observada por Ab'Sáber (2002) e corroborada em trabalhos posteriores, como o de Pessenda et al. (2001), que constataram pela análise da composição isotópica  $\delta^{13}\text{C}$  do solo a ocorrência de vários períodos de mudanças da vegetação durante o Holoceno inferior e médio superior, provavelmente por oscilações climáticas. Os autores registraram vegetação predominantemente florestal no que seria hoje o limite sul da Amazônia entre 17 e 9 mil anos antes do presente (AP). Porém, a partir deste período, eles registraram indícios de uma possível regressão da floresta no local, com predomínio de plantas C4. A regressão da floresta entre 7 e 4 mil AP também foi registrada por Vidotto et al. (2007) em Humaitá-AM, provavelmente por influência de um clima mais frio e seco que dominou a região naquele período. Contudo, os mesmos autores também encontraram para o intervalo entre 6,5 mil e 3,3 mil anos AP a ocorrência de vegetação arbórea menos densa que a atual, ou uma mistura de plantas C3 e C4, o que indica provável avanço da floresta sobre os domínios do cerrado em função do clima mais quente e úmido. Essas variações climáticas do final do Pleistoceno e Holoceno ficam ainda mais evidentes em trabalhos como o de Breukelen et al. (2008), realizado em uma caverna na Amazônia peruana. Os autores encontraram temperaturas médias de  $\sim 17^\circ\text{C}$  para o início do Holoceno, as quais são muito mais baixas que as temperaturas atuais no mesmo local ( $\sim 22^\circ\text{C}$ ). O aumento de temperatura até o presente provavelmente influenciou a expansão da floresta sobre a savana, criando o atual padrão observado na ZTE.

Este processo histórico de avanço e retração das florestas e savanas indica o clima como fator determinante deste processo, com predominância de cerrado em períodos mais frios e secos e de floresta nos intervalos mais quentes e úmidos, como o atual (Figura 7). A ZTE Amazônia-Cerrado é, portanto, o resultado de um processo histórico de avanço e retração de floresta e cerrado acompanhando as variações no regime de precipitação. Como a flora amazônica necessita de mais umidade no solo para desempenhar suas funções fisiológicas, a borda sul da ZTE fica exatamente no limite do domínio climático de CwA (mais úmido) para Aw (menos úmido), de acordo com a classificação de Köppen (Vianello e Alves, 2000). Esse clima transicional é o que permite savana e floresta densa se encontrarem, coexistirem, e formarem a vasta complexidade florística da ZTE.



A variação climática nos dois biomas parece ser contínua e ocorre mesmo em períodos de tempo mais curtos. Por exemplo, Gloor et al. (2013) verificaram tendência de aumento na precipitação anual durante o último século na Bacia Amazônica, predominantemente durante o período chuvoso, porém com reduções ligeiras ao Sul e Sudoeste. Recentemente aconteceram dois períodos de seca em curto prazo em 2005 e 2010, o que tem recebido bastante atenção dos pesquisadores (Marengo et al., 2008). Esses eventos acabam adicionando a percepção de que esse cenário de secas pode ter começado a acontecer com maior frequência no Sul da Amazônia (Gloor et al., 2013). As secas mais intensas ocorrem quando o *El Niño* coincide com a fase seca do ciclo de longo prazo, tal como a seca de 1992 (Davidson et al., 2012) e as secas de 2005 e 2010 (Lewis et al., 2011), as quais são acompanhadas de fortes ondas de calor. Esses resultados podem salientiar uma ligação com o aquecimento global e, portanto, indicar uma mudança de longo prazo do regime hidrológico na floresta (Gloor et al., 2013). Isso nos sugere que a floresta pode parar de avançar sobre a savana e ceder espaço para o cerrado devido ao aumento da frequência e duração das secas. Outro fator levado em consideração é o fogo (Alencar et al., 2004; Silvério et al., 2013), que é intensificado em eventos de seca e por ações antrópicas e que favorece a savana, a qual possui vegetação evolutivamente mais adaptada e resiliente a esse tipo de evento. Dessa forma, eventos frequentes de seca podem levar a eventos frequentes de fogo, o que em sinergia pode conduzir ambientes florestados à savanização (veja Silvério et al. 2013).

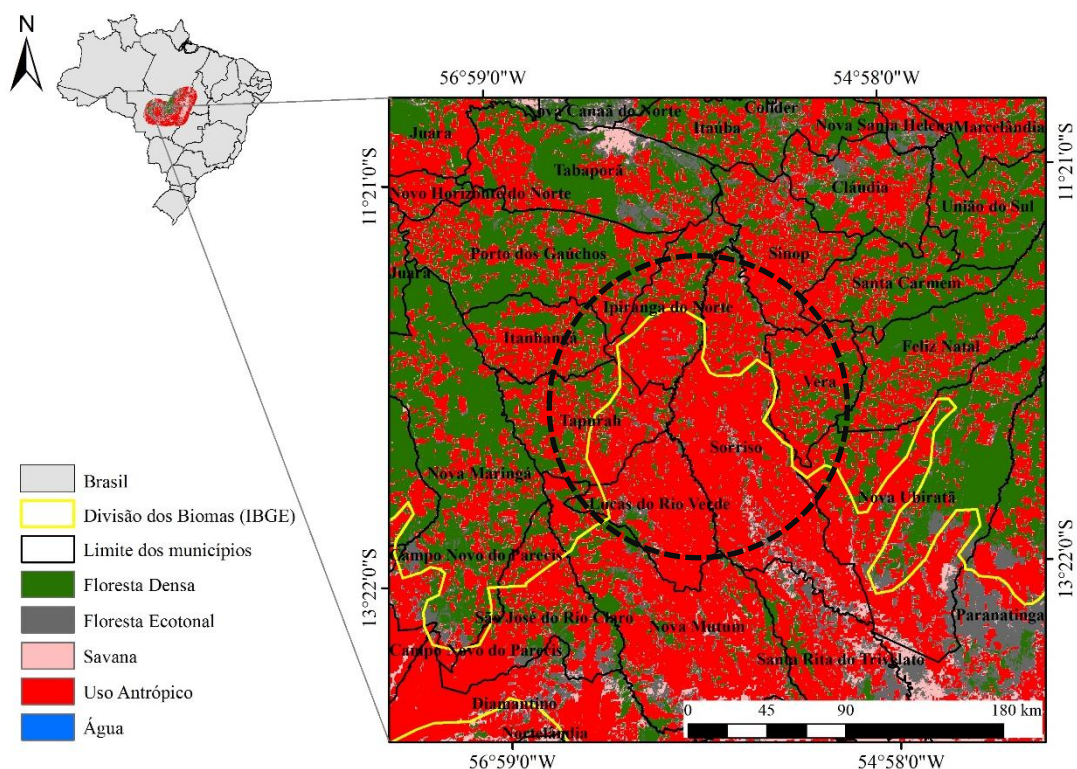


**Figura 7:** Esquema representando os eventos que podem levar ao avanço ou retração de florestas ou savanas, contribuindo com a complexidade florística da Zona de Tensão Ecológica Amazônia-Cerrado no Brasil.

A estas condições de seca e fogo, soma-se o uso extensivo da terra, uma vez que cerrado e a floresta ecotonal foram as classes de vegetação que mais tiveram suas áreas convertidas em uso antrópico entre 1984 e 2014. Encontramos nessas áreas paisagens alteradas e fragmentadas, com conectividade comprometida pelo avanço das atividades agropecuárias. Já esperávamos, de início, encontrar conversão maior nas áreas de florestas ecotonais, pois elas são mais fáceis de serem derrubadas e convertidas do que as florestas densas (Alencar et al. 2004). Até 2004, apenas 62% das florestas de transição em Mato Grosso ainda permaneciam em pé, o que pode ter aumentado até os dias atuais, uma vez que essas florestas continuam sendo alvo de desmatamento porque elas ocupam as áreas mais favoráveis para a agropecuária. Além disso, essas florestas estão localizadas na região conhecida como "arco do desmatamento", onde a cobertura vegetal original foi drasticamente reduzida pela conversão de terras para a agropecuária (Fearnside, 2005; Nogueira et al., 2008) e queimadas ilegais.

A conversão de ambientes naturais em áreas de cerrado em proporção muito semelhante à da floresta ecotonal encontrada no presente estudo reflete a Lei vigente, que prevê maior área de Reserva Legal para as áreas de floresta no Bioma Amazônia (Figura 8). Contudo, o mapeamento do IBGE indicou a região compreendida entre as cidades produtoras de grãos de Lucas do Rio Verde, Sorriso, Tapurah, Ipiranga do Norte e Vera (Figura 8 – círculo tracejado) como pertencentes ao Bioma Cerrado. Esta área nitidamente é de domínio da ZTE, com uma mistura de florestas e savanas, onde havia predomínio de formações florestais. Contudo, houve amparo legal para o desmatamento de até 80% do total original, uma vez que a vegetação da região foi considerada como savânica ao invés de florestal e, portanto, pertencente ao Bioma Cerrado.

Acreditamos que houve também conversão ilegal da floresta na região compreendida pelo IBGE como Bioma Amazônia decorrente das dificuldades de fiscalização nessa região e da legislação anterior, a qual permitia o desmatamento de 50% das florestas da transição principalmente nas décadas de 1980 e 1990. Atualmente, conforme a Lei nº 12.651/2012, que institui o código florestal, as propriedades rurais localizadas no Bioma Amazônia devem preservar 80% da vegetação nativa, enquanto as pertencentes ao Cerrado devem preservar apenas 35%. De acordo com Overbeck et al. (2015), a conservação da biodiversidade no Brasil tem priorizado os ambientes florestais e dado menor atenção aos ecossistemas não florestais, como as savanas, os pampas, os campos de murundus, entre outros.

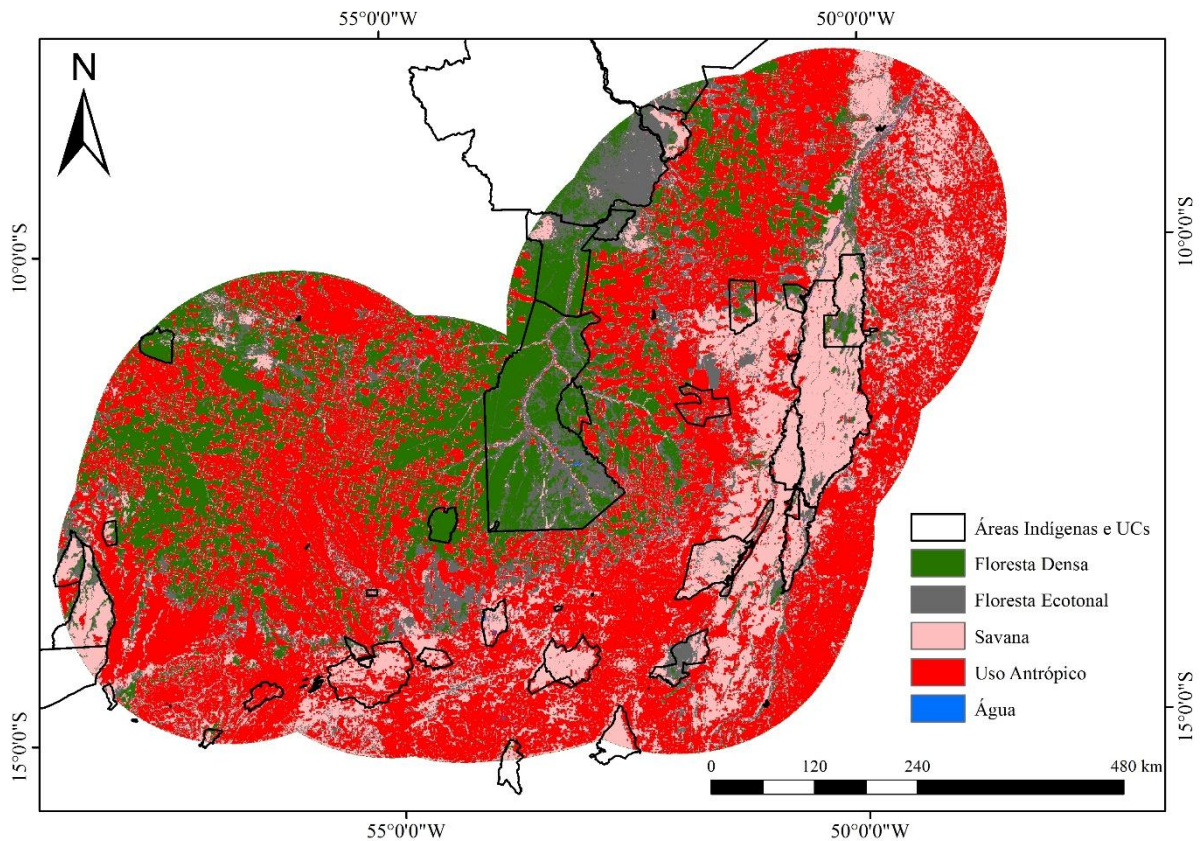


**Figura 8:** Diferentes níveis de avanço do uso antrópico nos diferentes domínios dos biomas Amazônia e Cerrado. Pode-se perceber que a porção da floresta ecotonal presente no que o IBGE classifica como Bioma Cerrado na área indicada pelo círculo tracejado foi a que mais sofreu antropização. Nota-se o contraste desta área, que compreende várias cidades com alta importância agrícola, com as adjacências menos desmatadas.

A região antes formada pela maioria das florestas ecotonais da ZTE atualmente é ocupada por fazendas cuja atividade econômica está baseada em pecuária de bovinos de corte e cultivo de grãos, enquanto áreas florestais remanescentes são as reservas dessas propriedades protegidas (Mews et al., 2012). O avanço dessas atividades antrópicas sobre a vegetação fragmenta a paisagem e divide contínuas áreas de vegetação natural em fragmentos isolados. De acordo com Metzger (2001), paisagens em áreas de agricultura são homogêneas e formam áreas contínuas, enquanto a vegetação natural forma remanescentes de vegetação que são reduzidos a pequenas manchas ou corredores desconexos. Essa conversão da paisagem é preocupante, pois leva à perda de conectividade entre os biomas Amazônia e Cerrado e, conseqüentemente, perda de biodiversidade por isolamento (Marimon et al., 2014). Isso evidencia a influência negativa do desmatamento sobre a capacidade de suporte e a conectividade das áreas que ainda possuem vegetação (Metzger, 2006), o que compromete a biodiversidade de ambos os biomas.

Os parques Indígenas e as unidades de conservação representam 16,7% da área mapeada em nosso estudo, e a relação da conversão de áreas naturais em uso antrópico é de apenas 6,8%. Acreditamos que se não fosse pelos parques indígenas (e.g. Parque Indígena do

Xingu) e unidades de conservação como o Parque Estadual do Araguaia, o desmatamento sobre as florestas densas e florestas ecotonais seria muito maior do que tem sido até hoje (Figura 9). Assim, a escassez de parques indígenas e de unidades de conservação também é um fator que contribui para o desmatamento e a conversão da ZTE em uso antrópico. Dessa forma, existem grandes áreas de milhares de hectares permanecendo como reservas, mas infelizmente espaçadas umas das outras e totalmente sem corredores de interligação (Mews et al., 2012).



**Figura 9:** Classes de cobertura da terra e áreas protegidas (parques indígenas e Unidades de Conservação, com representação de 16,7% da paisagem) na Zona de Tensão Ecológica Amazônia-Cerrado no Brasil em 2014.

Com a falta de unidades de conservação e a inobservância da vegetação ecotonal, o desmatamento avança sobre a ZTE, causando severa perda da vegetação e, obviamente, perda de todos os processos ecossistêmicos desempenhados por essas fitofisionomias. No total, em um período de 30 anos, foi perdido aproximadamente 41% das florestas ecotonais, especialmente os cerradões da região. Diversos tipos diferenciados de vegetação estão continuamente sendo descritos na região, como as florestas monodominantes de *Brosimum rubescens*, cujos remanescentes chegam à uma mínima fração da extensão original destas vegetações raras

(Marimon et al. 2001). Outros tipos vegetacionais drasticamente comprometidos ao longo deste período de 30 anos foram os cerradões distróficos e mesotróficos (*sensu* Ratter et al. 1973), antes abundantes na região e cuja composição florística e estrutura particulares dificilmente serão resgatadas. Vegetações de enconsta, caatingas de paleodunas do Araguaia, florestas inundáveis de impucas, salinas de carnaúbas, florestas de vales em solos mesotróficos (derivados de rochas carbonosas) e florestas bi-dominantes de *Dacriodes* e *Sacoglottis* (Marimon et al., dados não publicados), são alguns exemplos de vegetações que ainda estão sendo descritas, mas que já se encontram ameaçadas. Infelizmente, não é mais possível mapear exatamente a área perdida de todos estes tipos vegetacionais devido ao desaparecimento da maioria deles pelo desmatamento.

Além da perda de biodiversidade, estamos perdendo funções ecossistêmicas importantes em função da grande área já desmatada. As florestas realizam múltiplos serviços ecossistêmicos, tais como armazenamento de carbono, regulação do clima, equilíbrio hidrológico e da biodiversidade (Davidson et al., 2012). Além disso, existe o estoque de carbono que pode potencialmente ser liberado para a atmosfera mediante a destruição de florestas e cerrados para conversão em pastagem, lavoura ou exploração de madeira, adicionando como consequência mudanças climáticas (veja Gloor et al., 2013). Esse processo ainda facilita a entrada de fogo, a qual resulta em mais perda de estoque de carbono e biomassa.

Esses padrões provavelmente se repetem na porção sudoeste e nordeste da Amazônia, onde existe contato semelhante entre biomas, o que ressalta a necessidade de estudos semelhantes para preencher as diversas lacunas de conhecimento ao longo de toda a faixa transicional Amazônia/Cerrado. Tais condições revelam a necessidade de intensificação dos estudos de populações, comunidades e processos ecossistêmicos que estão sendo perdidos ou comprometidos com o avanço da antropização no arco do desmatamento. Para garantir a preservação da ZTE, sugerimos que os estudos sejam acelerados na região, pois neste cenário de mudanças climáticas intensas, aliado ao uso extensivo da terra, todo tempo e informação sobre essa região é valiosa. Sugerimos ainda a criação de legislação específica para a ZTE, pois ela possui características peculiares em relação às encontradas na floresta densa e na savana.

## **6. Conclusão**

Nossos resultados demonstraram que os Biomas Amazônia e Cerrado não são divididos por um simples ecótono abrupto, como originalmente proposto pelo mapeamento oficial do IBGE, mas sim por uma faixa complexa de transição, com largura variável, constituída por meandros e reentrâncias entre vegetações predominantemente savânicas e florestais. Nossas estimativas demonstraram também que o comprimento da transição foi subestimada em 245,5% pelo IBGE e que a largura desta faixa ecotonal pode chegar a aproximadamente 250 km em

alguns trechos. Estimamos ainda que foram desmatadas mais florestas ecotonais do que florestas densas, principalmente devido à falta de unidades de conservação e de mapeamento adequado. Várias áreas de floresta ecotonal foram perdidas devido à delimitação original do IBGE, que definiu áreas da ZTE como pertencentes ao Bioma Cerrado. Neste cenário, a criação de leis específicas para a preservação da ZTE e a criação de unidades de conservação são necessárias para garantir a sua existência e a manutenção temporal de seus ecossistemas e processos ecológicos singulares.

## **7. Referências Bibliográficas**

Ab'Saber, A. N. 2002. Bases para o estudo dos ecossistemas da Amazônia brasileira. *Estudos Avançados*, 16: 7-30.

Adams, J. B., D. E. Sabol, V. Kapos, R. Almeida Filho, D. A. Roberts, M. O. Smith., A. R. Gillespie. 1995. "Classification of Multispectral Images Based on Fractions of Endmembers: Application to Land-Cover Change in the Brazilian Amazon." *Remote Sensing of Environment* 52: 137-54.

Alencar, A., Nepstad, D., Mcgrath, D., Moutinho, P., Pacheco, P., Vera Diaz, M. D. C., Soares - Filho, B. 2004. *Desmatamento na Amazônia: indo além da "emergência crônica"*. IPAM, Belém.

Brando, P. M., Coe, M. T., Defries, R., Azevedo, A. A. 2013. Ecology, economy and management of an agroindustrial frontier landscape in the southeast Amazon. *Phil. Trans. R. Soc. B* 368, 1-9.

BRASIL. 1982. Ministério das Minas e Energia. Secretária-Geral. Projeto RADAMBRASIL. Folha; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro.

Breukelen, M. R., Vonhof, H. B., Hellstrom, J. C., Wester, W. C. G., Kroon, D. 2008. Fossil dripwater in stalagmites reveals Holocene temperature and rainfall variation in Amazonia. *Earth and Planetary Science Letters*, 275(1), 54-60.

Coutinho, L. M. O. 2006. Conceito de Bioma. *Acta Botânica Brasilica*. 20, 13-23.

Cunha, J. M. P. 2006. Dinâmica migratória e o processo de ocupação do Centro-Oeste brasileiro: O caso de Mato Grosso. *Revista Brasileira de Estudos da População*. 23, 87-107.

Davidson, E. A., de Araújo, A. C., Artaxo, P., Balch, J. K., Brown, I. F., Bustamante, M. M., Coe, M. T., DeFries, R. S., Keller, M., Longo, M., Munger, J. W., Schroeder, W. Soares – Filho, B. S., Sousa Jr, C. M., Wofsy, S. C. 2012. The Amazon basin in transition. *Nature*, 481(7381), 321-328.

ERDAS, 2011. ERDAS Imagine Spectral Analysis Users Guide, ERDAS Imagine.

ESRI, 2011. Using ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Instituto de Pesquisas Ambientais.

ENVI, 2004. ENVI Version 4.1 User's Guide, Research Systems, Inc.

Fearnside, P.M., 2005. Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e conseqüências. *Megadiversidade* 1, 113-123.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. 2014. Área territorial brasileira. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/>. (acessado 13.10.2014).

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. 2004. Mapa de Biomas do Brasil: Primeira aproximação. Rio de Janeiro: IBGE. Escala 1:5.000.000. Disponível em: <[ftp://geofpt.ibge.gov.br/mapas/tematicos/mapas\\_murais/biomas.pdf](ftp://geofpt.ibge.gov.br/mapas/tematicos/mapas_murais/biomas.pdf)>. (acessado 13.10.2014).

Gloor, M., Brienen, R. J. W., Galbraith, D., Feldpausch, T. R., Schöngart, J., Guyot, J. L., Phillips, O. L. 2013. Intensification of the Amazon hydrological cycle over the last two decades. *Geophysical Research Letters*. 40(9), 1729-1733.

Ivanauskas, N. M., Monteiro, R., Rodrigues, R.R. 2008. Classificação fitogeográficas das florestas do Alto Rio Xingu. *Acta Amazonica*. 38, 387-402.

Kunz, S.H., Ivanauskas, N. M., Martins, S. V., Silva, E., Stefanello, D. 2008. Aspectos florísticos e fitossociológicos de um trecho de Floresta Estacional Perenifolia na Fazenda Trairão, Bacia do rio das Pacas, Querência-MT. *Acta Amazonica*. 38, 245-254.

Lewis, S. L., Brando, P. M., Phillips, O. L., van der Heijden, G. M., & Nepstad, D. 2011. The 2010 amazon drought. *Science*. 331, 554-554.

Marengo, J. A., Tomasella, J., Alves, L. M., Soares, W. R., Rodriguez, D. A. 2011. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. *Geophysical Research Letters*, 38(12).

Marimon, B. S., Felfili, J. M., Haridasan, M. 2001. Studies in monodominant forests in eastern Mato Grosso, Brazil: I. A forest of *Brosimum rubescens* Taub. *Edinburgh Journal of Botany* 58, 123-137.

Marimon, B. S., Lima, E. S., Duarte, T. G., Chieregatto, L.C., Ratter, J. A. 2006. 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.

Marimon, B. S., Marimon-Junior, B. H., Feldpausch, T. R., Santos, C. O., Mews, H. A., Lopez-Gonzalez, G., Lloyd, J., Franczak, D. D., Oliveira, E. A., Maracahipes, L., Miguel, A., Lenza, E., Phillips, O. L. 2014. Disequilibrium and hyperdynamic tree turnover at the forest–cerrado transition zone in southern Amazonia. *Plant Ecology & Diversity*, 37-41.

Marimon, B. S., Marimon-Junior, B. H., Mews, H. A., Jancoski, H. S., Franczak, D. D., Lima, H. S., ... & Moresco, M. C. 2012. Floristics of floodplain 'murundus' of the Pantanal of Araguaia, Mato Grosso, Brazil. *Acta Botanica Brasilica*, 26, 181-196.

Marimon-Junior, B. H., & Haridasan, M. 2005. Comparação da vegetação arbórea e características edáficas de um cerradão e um cerrado sensu stricto em áreas adjacentes sobre solo distrófico no leste de Mato Grosso, Brasil. *Acta bot. bras*, 19, 913-926.

Matricardi, E. A.T., Skole, D. L., Pedlowski, M. A., Chomentowski, K., Fernandes, L. C. 2010. Assessment of tropical forest degradation by selective logging and fire using Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment* 114, 1117-1129.

Matricardi, E. A.T., Skole, D. L., Pedlowski, M. A., Chomentowski, K. 2013. Assessment of forest disturbances by selective logging and forest fires in the Brazilian Amazon using Landsat data. *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 34, No. 4, 1057–1086.



Meneses, P. R., Almeida, T. 2012. Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto. UnB/CNPq. Brasília.

Metzger, J. P. 2001. O que é ecologia de Paisagens? *Biota Neotropica*. 1, 1-9.

Metzger, J. P. 2006. Como lidar com regras pouco óbvias para conservação da biodiversidade em paisagens fragmentadas. *Natureza & Conservação* 4, 11-23.

Mews, H. A., Marimon, B. S., Ratter, J. A. 2012. 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.

Nogueira, E. M., Fearnside, P. M., Nelson, B. W., França, M. B. 2007. 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* 248,119-135.

Nogueira, E. M., Nelson, B. W., Fearnside, P. M., França, M. B., Oliveira, A. C. A. 2008. Tree height in Brazil's 'arc of deforestation': shorter trees in south and southwest Amazonia imply lower biomass. *Forest Ecology and Management* 255, 2963-2972.

Overbeck, G. E., Vélez-Martin, E., Scarano, F. R., Lewinsohn, T. M., Fonseca, C. R., Meyer, S. T., Müller, S. C., Ceotto, P., Dadalt, L., Durigan, G., Ganade, G., Gossner, M. M., Guadagnim, D. L., Lorenzen K., Jacobi, C. M., Weisser, W. W., Pillar, V. D. 2015. Conservation in Brazil needs to include non-forest ecosystems. *Diversity and Distributions*, 21, 1455-1460.

Pessenda, L. C., Boulet, R., Aravena, R., Rosolen, V., Gouveia, S. E. M., Ribeiro, A. S., Lamotte, M. 2001. Origin and dynamics of soil organic matter and vegetation changes during the Holocene in a forest-savanna transition zone, Brazilian Amazon region. *The Holocene*, 11(2), 250-254.

Ratter, J. A., Richards, P. W., Argent, G., Gifford, D. R. 1973. Observations on the vegetation of northeastern Mato Grosso – The wood vegetation types of the Xavantina – Cachimbo Expedition Area. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 226, 229-492.

Ratter, J. A., & Dargie, T. C. D. 1992. An analysis of the floristic composition of 26 cerrado areas in Brazil. *Edinburgh Journal of Botany*, 49, 235-250.

Ratter, J. A., Ribeiro, J. F., Bridgewater, S. 1997. The Brazilian Cerrado vegetation and threats to its biodiversity. *Annals of Botany*, 80, 223–230.

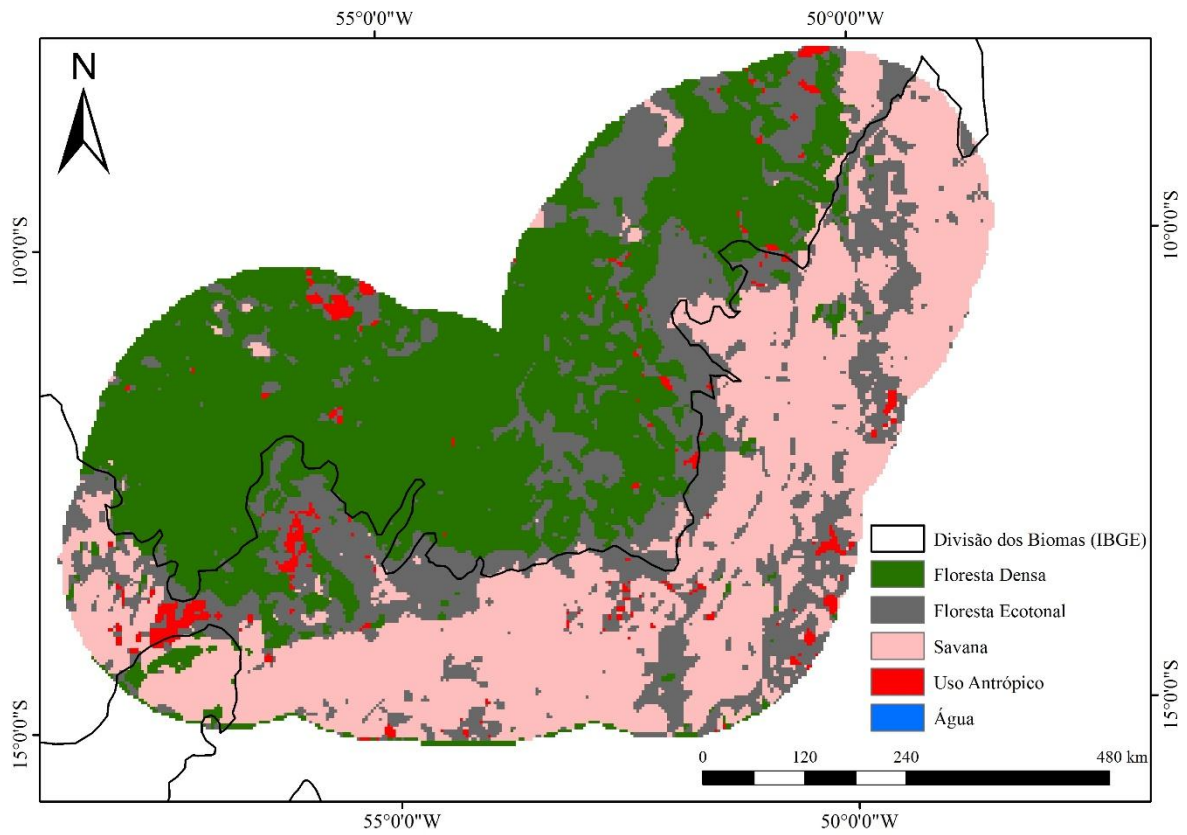
Silvério, D. V., Brando, P. M., Balch, J. K., Putz, F. E., Nepstad, D. C., Oliveira-Santos, C., Bustamante, M. M. C. 2013. Testing the Amazon savannization hypothesis: fire effects on invasion of a neotropical forest by native cerrado and exotic pasture grasses. *Phil Trans R Soc B* 368, 1-9.

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

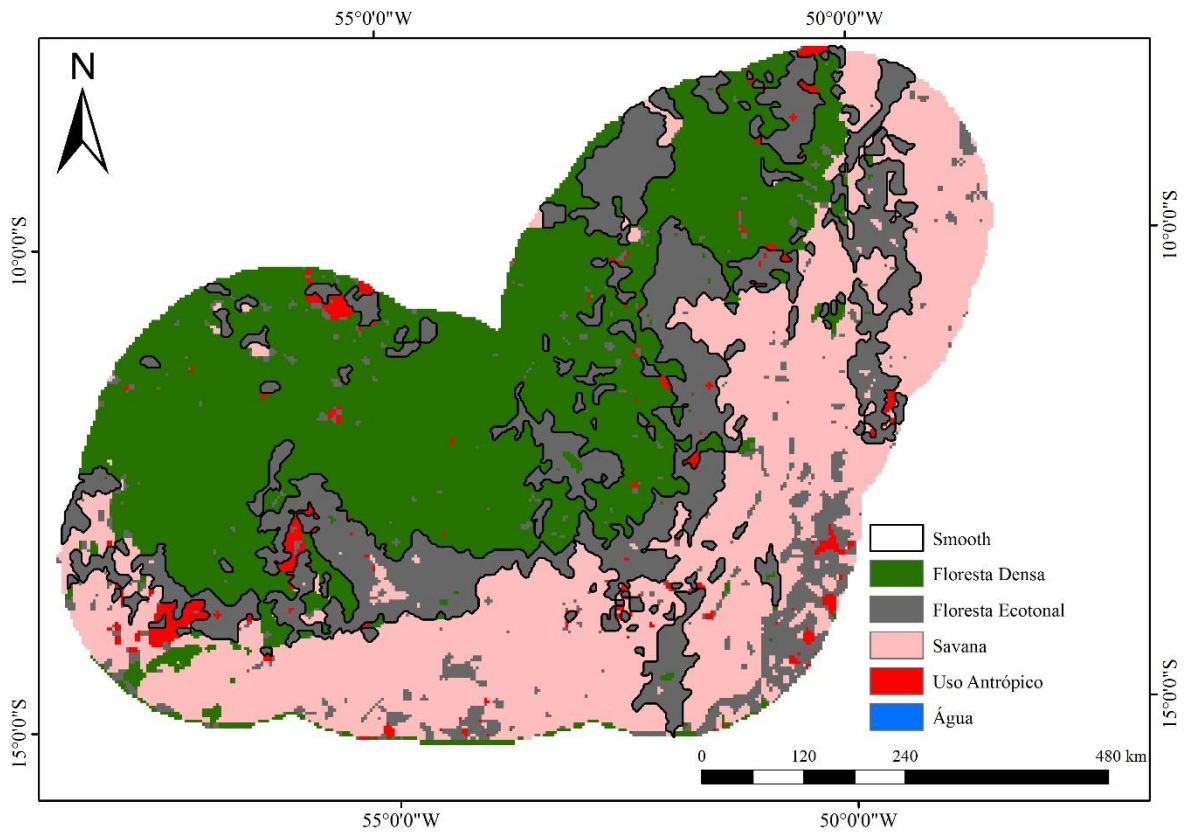
Vianello, R. L., Alves, A. R. 2000. *Meteorologia e Aplicações*. UFV. Viçosa - MG.

Vidotto, E., Pessenda, L. C. R., Ribeiro, A. D. S., Freitas, H. A. D., Bendassolli, J. A. 2007. Dinâmica do ecótono floresta-campo no sul do estado do Amazonas no Holoceno, através de estudos isotópicos e fitossociológicos. *Acta Amazônica*, 37(3), 385-400.

## 8. Apêndice



**Apêndice 1:** Filtro utilizando grids de 5 km<sup>2</sup>, utilizado para a reclassificação e criação do *smooth* e posteriormente utilizado como base para a criação do refinamento manual do complexo ecotonal.



**Apêndice 2:** Resultado do *smooth* utilizado como base para a criação do complexo ecotonal, feito através do refinamento manual.