

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Instituto de Geociências

Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais - PPGAMSA

Clara Nina Rodrigues Nunes

**HIDRELÉTRICAS NA AMAZÔNIA SÃO FONTES DE ENERGIA LIMPAS?  
Emissões diretas e indiretas pela mudança de cobertura do solo e emissões de créditos de  
carbono pela Usina Hidrelétrica Teles Pires.**

Belo Horizonte

2018

Clara Nina Rodrigues Nunes

**HIDRELÉTRICAS NA AMAZÔNIA SÃO FONTES DE ENERGIA LIMPAS?** Emissões diretas e indiretas pela mudança de cobertura do solo e emissões de créditos de carbono pela Usina Hidrelétrica Teles Pires.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de mestra em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais

Orientador: Prof. Raoni Guerra Lucas Rajão

Co orientador: Prof. Gilberto Bandeira Caldeira

Belo Horizonte

2018

N972h  
2018

Nunes, Clara Nina Rodrigues.

Hidrelétricas na Amazônia são fontes de energia limpas? [manuscrito] : emissões diretas e indiretas pela mudança de cobertura do solo e emissões de créditos de carbono pela usina hidrelétrica Teles Pires. / Clara Nina Rodrigues Nunes. – 2018.

ix,67 f., enc.: il. (principalmente color.)

Orientador: Raoni Guerra Lucas Rajão.

Coorientador: Gilberto Bandeira Caldeira.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Cartografia, 2018.

Bibliografia: f. 60-67.

1. Modelagem de dados – Aspectos ambientais – Teses. 2. Mercado de emissão de carbono – Teses. 3. Mudanças climáticas – Teses. 4. Mapeamento da cobertura do solo – Teses. 5. Usinas hidrelétricas – Teses. I. Rajão, Raoni Guerra Lucas. II. Melo, Gilberto Bandeira Caldeira de. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Cartografia. IV. Título.

CDU: 911.2:519.6



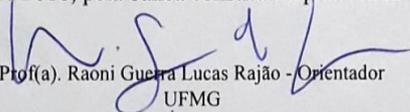
## FOLHA DE APROVAÇÃO

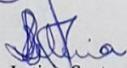
**Hidrelétricas na Amazônia são fontes limpas? Emissões indiretas pela mudança de cobertura do solo e emissões de créditos de carbono pela Usina Hidrelétrica Teles Pires.**

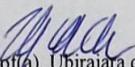
### **CLARA NINA RODRIGUES NUNES**

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS, como requisito para obtenção do grau de Mestre em ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS, área de concentração ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS.

Aprovada em 22 de junho de 2018, pela banca constituída pelos membros:

  
Prof(a). Raoni Guerra Lucas Rajão - Orientador  
UFMG

  
Prof(a). Leticia Santos de Lima  
UFMG

  
Prof(a). Ubirajara de Oliveira  
UFMG

Belo Horizonte, 22 de junho de 2018.

## AGRADECIMENTOS

A jornada proposta em um mestrado é composta de muito aprendizado e amadurecimento para o desenvolvimento profissional e pessoal, assim este trabalho representa este processo e existe devido a uma rede muito maior do que um indivíduo pesquisador.

Em primeiro lugar agradeço a minha mãe, por ser mãe, amiga, psicóloga. Por toda a empatia, compaixão e ter caminhado comigo cada passo deste caminho com seu exemplo e amor, finalmente estamos aqui. Ao meu pai por ter colaborado e motivado a seguir esta carreira. A minha Luna por ter sempre me motivado a ser a minha melhor versão com amor incondicional. Assim, como família é a base de tudo, aos meus irmãos agradeço por sempre me lembrar das raízes que possuo.

Ao Ciro, pelo amor, apoio, cuidado e disposição a fazer dar certo. Ao companheirismo nesta caminhada por dias bons e dias não tão bons e no meio de tudo você esteve aqui segurando a minha mão. Minha gratidão a nossa jornada juntos.

A Raíza, amiga e consultora, aquela que trabalhou comigo dia e noite. Sua colaboração a este trabalho é gigante saindo da discussão de modelos, mas sendo carinho e apoio nesta história. O que começou em Gramado se tornou uma amizade tão linda e marcante, todas as palavras e sentimentos foram chave para tudo que realizo aqui.

Ao Lucas, amigo, colega e parceiro. Grande pensador, modelador e colaborador deste mestrado. Suas reflexões tornaram isso possível, grande presente deste momento da minha vida.

A Emylle pela amizade infinita no mais sincero significado de amizade, evoluir juntas e nos apoiar juntas sempre.

Ao Dan, pela amizade irrestrita e espontânea, por ter compartilhado comigo cada dia desta pesquisa entre angústias, dados, prazos e alegrias.

A família Modelagem, Nunes, Fernanda, Linda, Max e tantos colegas que fizeram desse mestrado o melhor. Ao LAGESA, pela equipe maravilhosa e empática. A Juliana, Maria Elisa, Rosângela, Jéssica, Sarinha, Marcell pela amizade e alegria nesta BH. Carinho de pessoas queridas que levo comigo.

Ao meu orientador, Raoni Rajão, pelos ensinamentos e experiências que me proporcionaram crescimento profissional e pessoal. Seu exemplo profissional com a busca por um trabalho de qualidade e relevante socialmente são inspirações a este trabalho e minha carreira. Agradeço imensamente a paciência e compreensão no desenvolvimento desta pesquisa.

Ao programa de Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais pela oportunidade e experiência única.

Ao Centro de Sensoriamento Remoto - UFMG, pelo apoio essencial a esta pesquisa.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado nos últimos 24 meses que permitiu a realização do trabalho.

## RESUMO

As mudanças climáticas ocasionadas pelas emissões de gases de efeito estufa (GEE) tornaram-se nas últimas décadas um dos principais problemas ambientais. Para articular uma solução conjunta para esse problema a Organização das Nações Unidas (ONU) criou a Convenção-Quadro das Nações Unidas para Mudança Climática (UNFCCC) em 1992. Dentro da UNFCCC foi assinado o Protocolo de Quioto em 1998 que estabelece metas de redução de emissões de GEE para os países desenvolvidos (Anexo I) e incentiva ações de mitigação nos países em desenvolvimento (não Anexo I) através do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). O MDL permite a emissão de Redução Certificada de Emissões (CER) que podem ser adquiridos pelos países do Anexo I para cumprir parte de suas metas financiando projeto em países não Anexo I que possuam adicionalidade financeira e adicionalidade ambiental. Essa última é definida por metodologias desenvolvidas em consonância com as publicações do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) e aprovadas pelo comitê executivo do MDL dentro da UNFCCC. No Brasil existem 68 Documentos de Concepção de Projeto (PDD) em geração de energia por fonte hídrica submetidos ao MDL. Entre eles está o projeto da usina hidrelétrica (UHE) Teles Pires que recebeu CERs relativos a 24,994 milhões tCO<sub>2</sub>e. Embora considerada uma opção viável para a produção energética, as UHEs recebem questionamentos a respeito do cálculo de emissões de GEE provinda dos reservatórios. No caso da UHE esse problema é ainda maior pois a implementação desses grandes empreendimentos muitas vezes é acompanhada do desmatamento de grandes áreas nas regiões afetadas. A presente dissertação contribui para esse debate ao considerar as emissões indiretas geradas pelo desmatamento relacionado ao incremento populacional e infraestrutura vinculados a esse empreendimento. A proposta deste estudo considera a influência do empreendimento sobre o desflorestamento em raio de até 150 quilômetros da barragem no rio Teles Pires, e compara o desmatamento já ocorrido e projetado de 2011 até 2025 (ano final do PDD) com a da UHE, e um cenário contra factual que simula a ausência da hidrelétrica. O resultado da simulação indica que a implementação da UHE Teles Pires irá ocasionar no período de 15 anos a perda adicional de 6021,84 Km<sup>2</sup> de florestas nativas na Amazônia, gerando um impacto atmosférico de 61,4 milhões de toneladas CO<sub>2</sub> de gás carbônico equivalente (MtCO<sub>2</sub>e). Ao considerar as emissões indiretas ocasionadas pela UHE, o projeto MDL submetido passaria de emissor de CERs a credor climático, necessitando da compra de 36,446 MtCO<sub>2</sub>e para ter emissões comparáveis à de uma termoelétrica do mesmo porte. Tais informações demonstram a relevância dos estudos neste ramo tal que colabore ao desenvolvimento de metodologias que reúnam os impactos ambientais gerados pela UHE e colaborem ao desenvolvimento de políticas públicas efetivas sobre as problemáticas ambientais.

Palavras – chaves: Modelagem de dados – Aspectos ambientais, Mercado de emissão de carbono, Mudanças climáticas, Mapeamento da cobertura do solo, Usinas hidrelétricas.

## ABSTRACT

Climate change caused by greenhouse gas (GHG) emissions has become a major environmental problem in recent decades. In order to articulate a joint solution to this problem, the United Nations (UN) created the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) in 1992. The UNFCCC signed the Kyoto Protocol in 1998, which sets targets for the reduction GHG emissions to developed countries (Annex I) and encourages mitigation actions in developing countries (not Annex I) through the Clean Development Mechanism (CDM). The CDM permits the issuance of Certified Emissions Reduction (CER) that can be acquired by the Annex I countries to fulfill part of their project financing goals in non-Annex I countries that have financial additionality and environmental additionality. The latter is defined by methodologies developed in line with the publications of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) and approved by the CDM Executive Committee within the UNFCCC. In Brazil there are 68 Project Design Documents (PDD) in energy generation by water source submitted to the CDM. Among them is the Teles Pires hydroelectric plant (HPP) project that received CERs of 24,994 million tCO<sub>2e</sub>. Although considered a viable option for energy production, the HPPs received questions about the calculation of greenhouse gas emissions from reservoirs. In the case of the HPP this problem is even greater because the implementation of these large enterprises is often accompanied by deforestation of large areas in the affected regions. This dissertation contributes to this debate when considering the indirect emissions generated by the deforestation related to the population increase and the construction of roads linked to these enterprises. The proposal of this study considers the influence of the project on the deforestation in a radius of up to 150 kilometers of the dam on the Teles Pires river, and compares the already deforested and projected deforestation from 2011 to 2025 (final year of the PDD) with that of the HPP, and a factual scenario that simulates the absence of the hydroelectric plant. The result of the simulation indicates that the implementation of the Teles Pires HPP will cause in the 15-year period the additional loss of 6021.84 km<sup>2</sup> of native forests in the Amazon, generating an atmospheric impact of 61.4 million tons of CO<sub>2</sub> equivalent (MtCO<sub>2e</sub>). When considering the indirect emissions caused by the HPP, the submitted CDM project would pass from issuer of CERs to climatic creditor, necessitating the purchase of 36,446 MtCO<sub>2e</sub> to have emissions comparable to that of a thermoelectric of the same size. Such information demonstrates the relevance of the studies in this branch that collaborates to the development of methodologies that meet the environmental impacts generated by the HPP and collaborate to the development of effective public policies on the environmental problems.

**Keywords:** data modelling – environmental aspects, Clean Development Mechanism, Climate Change, mapping land use, hydropower plants.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Panorama nacional de emissões de GEE. ....	19
Figura 2 - Cálculos de emissões de GEE pela hidrelétrica Santo Antônio com variações metodológicas. ....	22
Figura 3 - de localização da UHE Teles Pires e área de influência. ....	29
Figura 4 - Etapas para desenvolvimento da relação entre população e desmatamento. ....	30
Figura 5 - Variável tipo contínua (Distância de rodovias e estradas vicinais) e variável dinâmica (Áreas protegidas). ....	35
Figura 6 - Paisagem inicial e final para o período de calibração. ....	35
Figura 7 - Reservatório, estradas e construções para a hidrelétrica Teles Pires. ....	37
Figura 8 - Relação entre população e desmatamento. ....	41
Figura 9 - Distribuição dos pesos nas variáveis contínuas. ....	43
Figura 10 - Distribuição dos pesos de evidência por variável categórica. ....	44
Figura 11 - Similaridade encontrada para validação do modelo proposto. ....	46
Figura 12 - Projeções de acordo cenário com e sem UHE para o ano 2015. ....	48
Figura 13 - Projeções de acordo cenário com e sem UHE para o ano 2025. ....	48
Figura 14 - Taxa de área desmatada por distância da UHE. ....	49
Figura 15 - Distribuição espacial do desmatamento anual simulado. ....	50
Figura 16 - Emissões de GEE por cenário simulado. ....	51
Figura 17 - Emissões anuais de acordo cenário abordado. ....	51
Figura 18 - Totais de créditos emitidos considerando variados metodologias e períodos de créditos. ....	53

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Evolução da metodologia ACM0002.....	18
Tabela 2 - Potencial hidráulico e reservas provadas no Brasil em porcentagem (%). .....	20
Tabela 3 - Projeção populacional com a implantação da UHE, de acordo o EIA da mesma...27	
Tabela 4 - Municípios na área de estudo da UHE Teles Pires. ....	29
Tabela 5 - Dados sobre a população dos municípios analisados para 2000 e 2010. ....	31
Tabela 6 - Cenários usados para projetar as áreas desmatadas.....	32
Tabela 7 - Base de dados utilizado no modelo para mudança da cobertura do solo. ....	33
Tabela 8 - População na área de estudo (hab.). ....	40
Tabela 9 - Área desmatada acumulada por município (km <sup>2</sup> ) .....	40
Tabela 10 - Projeção populacional na área de estudo para período 2011 a 2025.....	41
Tabela 11 - Correlação obtida entre as variáveis utilizadas pelo critério de Crammer. ....	45
Tabela 12 - Dados para matriz de transição de simulação do modelo. ....	47
Tabela 13 - Cálculo de Créditos de redução de emissões para o cenário proposto, considerando o período de créditos do PDD (10 anos).....	52
Tabela 14 - Cálculo de Créditos de redução de emissões, considerando o período de créditos renovável do PDD (7 anos). ....	53

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2.REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO .....	13
2.1. MUDANÇA CLIMÁTICA .....	13
2.2. METODOLOGIA ACM0002.....	14
2.3. EMISSÕES DE GEE NACIONAIS E HIDRELÉTRICAS .....	19
2.4. MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS .....	22
2.5. USINA HIDRELÉTRICA TELES PIRES .....	26
3.MATERIAIS E MÉTODOS .....	28
3.1. ÁREA DE INFLUÊNCIA .....	28
3.2. PROJEÇÃO DA ÁREA TOTAL DESMATADA .....	30
3.3. MODELAGEM DE MUDANÇA DA COBERTURA DO SOLO .....	32
3.4. CÁLCULO DE EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA .....	38
4.RESULTADOS .....	39
5.DISSCUSSÃO.....	54
6.CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	59
7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	60

## 1. INTRODUÇÃO

Compreendendo que as usinas hidrelétricas se enquadram em projetos no Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL), se faz necessário que seja possível contabilizar o carbono emitido pelas mesmas. No entanto, ainda não existem estudos que contabilizem a emissão de carbono pelo desmatamento para a instalação destes empreendimentos.

A partir da Cúpula da Terra (Rio-92), em 1992, 179 países concordaram com a criação da Convenção-Quadro das Nações Unidas para Mudança Climática (UNFCCC) em resposta à crescente evidência que a atividade humana contribui para o aquecimento global (CDM WATCH, 2003). Este esforço gerou, em 1997, o protocolo de Quioto pela necessidade de colaboração internacional em desenvolver ferramentas para o combate ao aquecimento anormal do planeta. Este documento, entre outras coisas, estabelece metas obrigatórias para a redução de emissões de GEE pelas Partes do Anexo I (CDM EXECUTIVE BOARD, 2017). O Anexo I corresponde aos países desenvolvidos que ratificaram o documento.

De acordo com as perspectivas do protocolo, foram definidas metas quantificadas de redução de emissões de GEE para os países desenvolvidos e para isso adotou três mecanismos de implementação cooperativos, chamados mecanismos de flexibilidade. Um destes é o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), o único que envolve os Países não Anexo I. Sendo assim, esta plataforma tem por objetivo colaborar na promoção do desenvolvimento sustentável nos Países em desenvolvimento, hospedeiros das atividades de projeto (ROSA, 2009). Porém, o que o difere dos outros mecanismos, consiste nos Créditos de Redução de Emissões (CERs) que são gerados pelos projetos submetidos e podem ser contabilizados (CDM WATCH, 2003), favorecendo assim os inventários de GEE dos países Anexo I.

A submissão de projetos para o MDL está condicionada às metodologias estabelecidas pelo Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC) e admitidas pelo comitê executivo da UNFCCC. O Documento de Concepção do Projeto (PDD) é apresentado pelo proponente de acordo com as especificações da plataforma MDL, isto é, cada PDD é estruturado em torno de uma metodologia apropriada para cada tipo de atividade. Dependendo do setor, há um grande número de metodologias aprovadas (por exemplo, resíduos, energia hidrelétrica, energia eólica) (CDM WATCH, 2003).

Estas metodologias são verificadas pelo IPCC e buscam incorporar novos conhecimentos, são revisadas e podem gerar novas versões com validade temporal limitada.

Entre os 191 PDDs hospedados no Brasil, até 2016, 58,11% correspondem a empreendimentos de grandes usinas hidrelétricas (UHE) (CDM DATABASE, 2016). No âmbito dos debates internacionais sobre mudanças climáticas, a questão energética constitui tema central, e, embora submetida a controvérsias, a defesa da hidreletricidade como fonte de energia renovável assume papel de destaque (LASCHEFSKI, 2011). Para os gestores deste ramo, as hidrelétricas são classificadas como projetos estruturantes, também considerados como iniciativas que proporcionam expansão da infraestrutura – no caso, a oferta de energia elétrica - no médio e longo prazo e, ao mesmo tempo, demonstram capacidade para estimular o desenvolvimento econômico, tecnológico e social (ANEEL, 2008).

Sobre o uso de hidrelétricas no Brasil, em particular, entre 1974 e 2005, a potência instalada foi acrescida de 57.134 MW, evoluindo de 13.724 MW para quase 70.900 MW (EPE, 2015). O Plano Nacional de Energia para 2030, realizado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), informa que 70% do potencial de geração de energia elétrica por fonte hídrica encontra-se nos biomas Amazônia e Cerrado.

Neste contexto, as hidrelétricas têm grande relevância entre os PDDs brasileiros submetidos ao MDL, como a Usina Hidrelétrica Teles Pires, com 1820 Megawatts (MW) de capacidade instalada. Este projeto está entre os cinco maiores projetos hidrelétricos na plataforma e sendo a terceira maior em área inundada (134,7 km<sup>2</sup>) na região Norte do país.

Este empreendimento construído na região Amazônica é centro de diversos debates sobre os seus impactos e sua real colaboração à matriz energética nacional (ALVES, 2015; ECOPART, 2012; FEARNSSIDE, 2014b, 2016; SANTO ANTÔNIO ENERGIA S.A., 2012). Porém, tais estudos discordam sobre o impacto proporcionado pela usina, sendo propício mais estudos neste tema. Compreendendo que a influência de empreendimentos com estas características na região Amazônica pode gerar impactos inversos ao esforço nacional para redução do desmatamento e principais políticas de redução de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE).

As construções das usinas envolvem inundações de terras para regularizar a vazão d'água nas turbinas e garantir a eficiência do projeto. Dado o grande número de barragens planejadas na região Amazônica e em países como China, é imperativo desenvolver modelos para estimar o balanço de Carbono de grandes projetos hidrelétricos com intuito

de amparar a tomada-de-decisão antes da construção da represa (HU; CHENG, 2013). Considerando este cenário, Fearnside (2015b) mostrou que as barragens tropicais emitem substancialmente mais GEE do que são reconhecidos nos procedimentos de contabilidade do MDL, o que demonstra a relevância de estudos nestas regiões, como a Amazônia.

Desta forma, a elaboração deste estudo converge a análise de medidas de mitigação da mudança climática com o desenvolvimento de modelos descritivos pertinentes que demonstrem o comportamento de grandes hidrelétricas. Como citado por Barreto *et al.* (2011), modelos para projeções são simplificações da realidade para avaliar futuros prováveis para, com isso, vislumbrar os impactos possíveis em uma região pela implantação de uma hidrelétrica. Uma ferramenta importante para o processo de modelagem ambiental consiste no software DINAMICA EGO (CSR/UFMG, 2015).

A falta de método estabelecido para estimar emissões futuras é destacado como um dos maiores problemas na controvérsia sobre as emissões de GEE por usinas hidrelétricas (FARIA *et al.*, 2015) e assim constitui a colaboração desta dissertação cuja finalidade é provocar e colaborar ao debate mencionado.

Diante do exposto, avaliamos a relação entre a dinâmica populacional com o desmatamento na região, em cenários com e sem implantação da UHE Teles Pires. Foram projetados cenários Business-As-Usual (BAU), na presença do empreendimento, e contra factual, isto é, pela ausência do mesmo. Assim, analisar as diferenças entre eles demonstra a influência do empreendimento na paisagem. Desta forma, é possível qualificar e quantificar a mudança de uso do solo por efeito da usina, e ainda refletir este impacto nos cálculos de CERs do PDD desta hidrelétrica.

Ademais, o presente trabalho também dispõe informações a respeito das mudanças climáticas, a gestão internacional desta problemática, o processo de modelagem de sistemas e aplicação dos modelos de mudança de uso do solo (LUCC) e CARbon and Land-Use Change (CARLUC). A seguir, apresenta-se o objeto de trabalho, a UHE Teles Pires. Desta coletânea é possível explicar a metodologia desenvolvida e a convergência de informações para realização do objetivo com análise dos resultados alcançados e considerações finais.

## **2. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO**

### **2.1. MUDANÇA CLIMÁTICA**

A comunidade científica passou a declarar um entendimento maior sobre a influência das atividades humanas nas alterações do clima global através do Quarto Relatório de Avaliação (AR4) elaborado pelo Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC) convergindo com outros estudos (HOUGHTON; JENKINS; EPHRAUMS, 1990). A partir das análises dos resultados, constatou-se com maior exatidão, que as atividades humanas têm contribuído para o aumento da concentração de Gases de Efeito Estufa (GEE) na atmosfera (KOUMROUYAN et al., 2010). Este relatório apresentou que o acúmulo destes gases promovem um aquecimento anormal na superfície terrestre e que as fontes que aceleram este evento são, principalmente, por ações antrópicas.

O primeiro relatório do IPCC, publicado em 1990, afirma que as emissões resultantes das atividades humanas estão, substancialmente, aumentando a concentração atmosférica de GEE (dióxido de carbono, metano, clorofluorcarbonetos (CFCs) e óxido nítrico). Esse aumento irá elevar o efeito estufa, resultando em média num aquecimento adicional da superfície da Terra (HOUGHTON; JENKINS; EPHRAUMS, 1990). Emissões continuaram crescendo e as concentrações de CO<sub>2</sub> tem aumentado além de 390 ppm, ou 39% acima dos níveis pré-industriais, até o final de 2010. Os GEE comprovadamente interagem com a radiação infravermelha na atmosfera causando intensificação do efeito estufa natural. Em prol de obter sistema de unidade neste tema, convencionou-se o padrão em emissões relativos ao gás carbônico (CO<sub>2</sub>e), assim as emissões dos diversos GEE são convertidas a emissão de gás carbônico equivalente através do Potencial de Aquecimento Global (GWP). Desta forma, é possível unificar as análises em emissões de GEE.

O acordo de Cancun foi elaborado para evitar os impactos adversos da mudança climática nos recursos hídricos, ecossistemas, segurança alimentar, saúde humana e aglomerações costeiras com mudanças abruptas e potencialmente irreversíveis no sistema climático. Este evento convocou os países para limitar o aumento da temperatura média global para não mais que 2°C acima dos valores do período pré industrial, e concordou em considerar um limite para 1.5°C. [...] Isto, por sua vez, implica em intervir nas emissões globais de CO<sub>2</sub> que precisam decrescer até 2050, em 85% do níveis de 2000 e

começar a decair (invés de continuar seu atual aumento) até não mais de 2015 (IPCC, 2012).

O reconhecimento do problema ambiental global e a necessidade de ações direcionadas resultaram na criação da Convenção-Quadro das Nações Unidas para Mudanças Climáticas (UNFCCC) como órgão deliberativo mundial, ratificado por 197 países. Este tratado foi elaborado a partir da Convenção da Terra no Rio de Janeiro em 1992 que objetivou a estabilização de concentrações de GEE na atmosfera a um nível que impeça a interferência antropogênica perigosa no sistema climático (UNFCCC, 1992).

Na 3ª Conferência das Partes para a Convenção no Japão em 1997, a partir da necessidade de colaboração internacional em desenvolver ferramentas para o combate ao aquecimento anormal do planeta as Partes concordaram com o Protocolo que estabeleceu objetivos para países desenvolvidos de reduzir suas emissões domésticas para uma média de 5% abaixo dos níveis de 1990 no período de 2008 a 2012, o qual é conhecido como o primeiro período do compromisso. O Protocolo recebeu o nome da cidade em que foi negociado – Quioto. Os países Anexo 1, i.e. países desenvolvidos, são obrigados a restringir suas emissões enquanto os países não Anexo 1 são voluntários a isto.

## **2.2. METODOLOGIA ACM0002**

O Protocolo de Quioto adotou três mecanismos de implementação cooperativos, chamados mecanismos de flexibilidade: Comércio de Emissões (CE), Implementação Conjunta (IC) e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) (CDM WATCH, 2003). O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) requer a aplicação de uma metodologia de linha de base e monitoramento para determinar a quantidade de Reduções Certificadas de Emissões (CERs) geradas por uma atividade de projeto de MDL de mitigação em um país hospedeiro. Essas CERs podem ser comercializadas e vendidas, e usadas pelos países desenvolvidos para cumprir uma parte de suas metas de redução de emissões sob o Protocolo de Quioto (CDM EXECUTIVE BOARD, 2017). Pelo protocolo de Quioto, este mecanismo estava limitado ao investimento de países do Anexo I em países em desenvolvimento, como o Brasil.

Com isto, o MDL pode representar uma alternativa para superar o abismo entre desenvolvimento econômico e cuidado com o meio ambiente, mas é notável que a plataforma necessita de cautela. Uma vez que fomenta, a transferência de recursos e tecnologia do hemisfério norte para o sul, além de auxiliar na promoção do

desenvolvimento sustentável enquanto busca atender seu objetivo maior, reduzir a emissão de GEE (ROSA, 2009).

A submissão de projetos na plataforma do MDL está baseada na demonstração, por cálculos, da adicionalidade do projeto no contexto das políticas determinadas da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC). Nesse escopo o termo adicionalidade está assim designado: o efeito da atividade de projeto de MDL para reduzir as emissões antrópicas de GEE abaixo do nível que teria ocorrido na ausência do projeto de MDL atividade (CDM EXECUTIVE BOARD, 2017). Para isso os projetos são comparados a operação em linha de base de um empreendimento de mesma capacidade.

Metodologias referem-se frequentemente a ferramentas, que abordam aspectos específicos da atividade de projeto, por ex. calcular as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) de fontes específicas (UNFCCC, 2014). Assim, existem parâmetros definidos para submissão de projeto a plataforma, como é o caso de período de créditos e delineamento de empreendimento de acordo a atividade desenvolvida. Os projetos estendem-se por sete anos (com possibilidade de renovação) ou por um período único de dez anos (FEARNSIDE, 2016).

As metodologias de cálculos de emissões são formuladas pelo IPCC, devido ao crédito de imparcialidade científica desta instituição, e aplicam-se para direcionar os proponentes na elaboração do Documento de Concepção de Projeto (PDD) e são aprovadas pelo comitê executivo do MDL dentro da UNFCCC. Para o caso de Hidrelétricas, a metodologia consolidada para quantificar estas emissões, ACM0002, está baseada no deslocamento de eletricidade que seria fornecido para a rede por meios mais intensivos em emissão de GEE.

O desenvolvimento desta ferramenta é constante e nessa perspectiva a própria plataforma permite a contestação dos cálculos, sendo possível a inclusão de informações. O processo descrito atualiza versões das metodologias e devido a isso cada versão possui período de validade. Atualmente, a ACM0002 está em sua 17ª versão, sendo indicado utilizar aquela vigente no período de submissão do PDD. Esta metodologia tem como projetos típicos os que enfocam no reajuste, reabilitação (ou reforma), além de uma substituição ou aumento da capacidade da usina de energia ou construção e operação de uma nova usina / unidade que usa fontes renováveis de energia existentes e fornecimento de eletricidade para a rede (UNFCCC, 2014). Corresponde, assim, à rede conectada para geração de energia por fontes renováveis, utilizada para hidrelétricas.

Ao observar a evolução deste procedimento, nota-se a transformação de conceitos que foram agregados, um resumo das principais mudanças incorporadas está apresentado na Tabela 1. Isto é, em sua 4ª versão considerou-se para a maioria dos projetos de energia renovável,  $PEy = 0$  (Emissão de gases pelo projeto por ano). Entretanto, para atividades de projetos geotermiais, os proponentes do projeto devem contabilizar as respectivas emissões de fonte (CDM EXECUTIVE BOARD, 2005). Demonstrando quais os tipos de usinas eram exigidas no cálculo de emissões de GEE. De acordo a versão 6, de 2006, para atividades de projetos de hidrelétricas que resulte em novo reservatório, os proponentes do projeto devem contabilizar para emissões de  $CH_4$  e  $CO_2$  a partir de reservatório se a densidade de potência (Equação 1) do projeto for maior que  $4W/m^2$  e menor ou igual  $10W/m^2$ , considerando o fator de emissão padrão  $90 \text{ Kg } CO_2e/MWh$  (CDM EXECUTIVE BOARD, 2006). Na versão 12, foi acrescentado ao escopo àqueles que resultem no aumento de um ou múltiplos reservatórios (CDM EXECUTIVE BOARD, 2010). A partir da versão 7, da ACM0002, é considerada a “Ferramenta para cálculo de fator de emissão para sistemas elétricos”, nesta apresenta o método para o fator de emissão para cada projeto.

Kahn, Freitas e Petrere (2014) alertam que existe um grande perigo associado ao erro de cálculo nos empreendimentos deste escopo. O desenvolvimento dos critérios evidenciou que o cálculo das emissões de GEE dentro do MDL passou por mudança de concepção. Enquanto, inicialmente era considerada fonte nula de emissões e devido ao conhecimento específico houveram outras considerações sobre esse tipo de atividade. Porém, dentro da plataforma, não há necessidade de revisão de PDD por conta dessas variações, então existe o questionamento se essas alterações refletiriam no processo decisório dos projetos que foram submetidos a plataforma anteriormente. A irreversibilidade dos custos futuros é o que realmente impulsiona a necessidade de cautela atual (KAHN *et al.*, 2014).

A respeito da especificação da densidade de potência ( $W/m^2$ ), usa-se:

Equação 1 - Cálculo de densidade de potência de acordo ACM0002. Fonte: (IPCC, 2006).

$$PD = \frac{\sum Cap_{j,i}}{\sum Ap_{j,i}}$$

Onde:

**Cap** é a capacidade instalada em uma planta individual depois da implementação do projeto;

**Ap** é área de único ou múltiplos reservatórios medidos na superfície da água quando o reservatório está cheio;

**i** corresponde a plantas individuais incluídas num projeto integrado de hidrelétricas;

**j** corresponde reservatórios individuais incluídos num projeto integrado de hidrelétricas.

Neste sentido, Fearnside (2016) afirma que a elevada densidade energética significa que a área do reservatório é pequena em relação à capacidade instalada. Porém, ao considerar que a capacidade instalada reflete a quantidade de água disponível no rio, e isso tem efeito oposto: quanto maior o fluxo da corrente, maior a emissão que resultará da água que passa pelas turbinas e vertedouros (FEARNSIDE, 2016). Logo, o uso deste critério se torna contestável.

Ainda a respeito das delimitações de submissão de projetos, são contabilizados nos PDDs as seguintes formas de emissão: de linha de base, de projeto e de vazamento. Sendo esta última, para a ACM0002, emissões potencialmente decorrentes de atividades como a construção de usinas elétricas e as emissões a montante do uso de combustível fóssil (por exemplo, extração, processamento, transporte, etc.) são negligenciadas (CLEAN DEVELOPMENT MECHANISM, 2016).

Tabela 1 - Evolução da metodologia ACM0002. Fonte: Elaborado pela autora com as informações do Guia da metodologia ACM0002 (CLEAN DEVELOPMENT MECHANISM, 2016).

Critérios	Versão	1	5	6	7	12	15
	Ano de início da versão	2004	2006	2006	2007	2010	2014
Considera hidrelétricas como não emissoras de GEE. ( $P_{e,y}=0$ )		✓	-	-	-	-	-
Existe avaliação de emissões antropogênicas na linha de base mas não incorpora emissões por hidrelétricas.		-	✓	✓	✓	✓	✓
Inclui usinas hidrelétricas com novos reservatórios com densidade de potência superior a 4 W/m <sup>2</sup> e inclusão da equação para cálculo das emissões do reservatório na seção reduções de emissões padrão para as emissões dos reservatórios e o valor padrão de acordo com EB23 - 90 Kg CO <sub>2</sub> e / MWh)		-	-	✓	✓	✓	✓
Inclusão da "Ferramenta para calcular o fator de emissão para Sistema de eletricidade ";		-	-	-	✓	✓	✓
Inclusão de uma equação de cálculo da densidade de potência de Usinas hidrelétricas		-	-	-	✓	✓	✓
Inclusão de emissão por reservatório de hidrelétricas		-	-	-	✓	✓	✓
Esclarece os requisitos de monitoramento da área do reservatório e da capacidade instalada no caso de usinas		-	-	-	-	✓	✓
A alteração incorpora condições de aplicabilidade sobre como a metodologia deve ser aplicada nos casos em que a atividade de projeto inclui usinas hidrelétricas com múltiplos reservatórios.		-	-	-	-	✓	✓
Ampliar a aplicabilidade da metodologia para contemplar projetos envolvendo a construção de um novo reservatório juntamente com novas usinas / unidades de geração de energia para geração de energia em projetos de energia hidroelétrica integrada;		-	-	-	-	-	✓

### 2.3. EMISSÕES DE GEE NACIONAIS E HIDRELÉTRICAS

Neste contexto, as emissões nacionais tornam foco para alcance de investimentos gerados no MDL. De acordo as estimativas anuais de emissões de GEE divulgadas pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI (2014), entre 2000 a 2012, as principais fontes nacionais por setores foram florestas, agropecuária, energia, como pode ser observado na Figura 1. Porém a partir de 2005, o setor florestal obteve redução de 85%, enquanto setor energético aumentou 35% e agropecuária 7,4%. As variações ao longo do tempo são explicadas pelas alterações do uso da terra (em especial o desmatamento na Amazônia), que já chegaram a representar mais de 2/3 das emissões brutas brasileiras e atualmente caíram para 40% do total. Como a SBSIA (2015), apresenta as duas principais fontes emissoras de gases de efeito estufa no Brasil são o desmatamento em regiões tropicais (ex: Amazônia) e a queima de combustíveis fósseis como carvão mineral, gás natural e petróleo, decorrente principalmente do setor de produção de energia (termelétricas), industrial e de transporte (automóveis, ônibus, aviões, etc.).

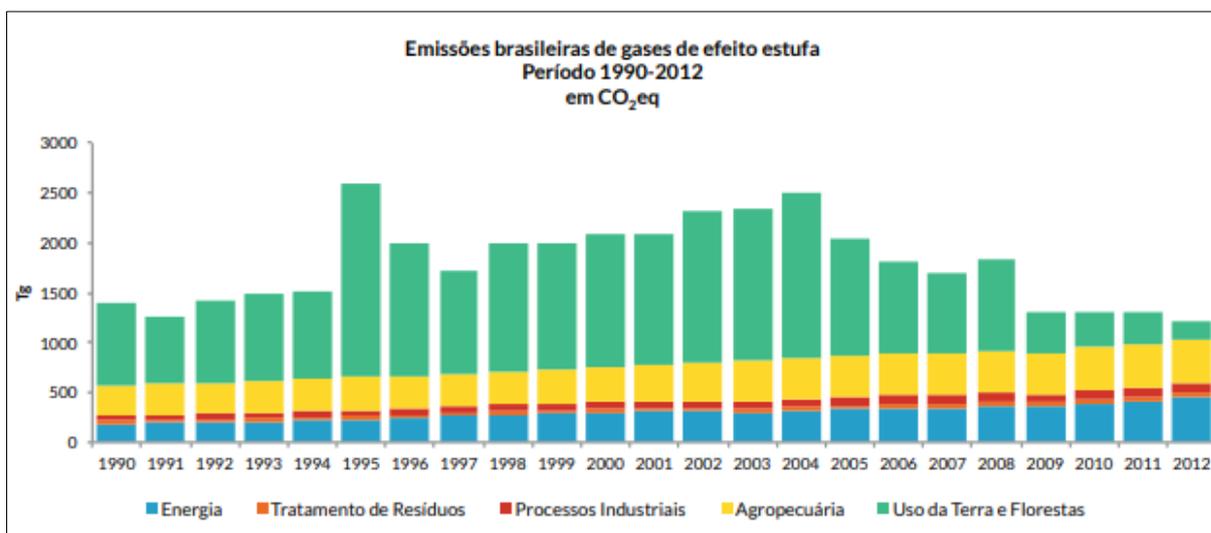


Figura 1 - Panorama nacional de emissões de GEE. Fonte: (MCTI, 2014)

Dentro do panorama é possível observar que o setor energético é crescente. No Brasil, a maior parte da fonte de energia são por combustíveis fósseis e hídrica. De acordo o Balanço Energético Nacional, o Brasil possui grande potencial para fornecimento de energia elétrica via fonte hídrica, onde a região norte corresponde a quase metade desse dado como mostra a Tabela 2.

Tabela 2 - Potencial hidráulico e reservas provadas no Brasil em porcentagem (%).

REGIÃO	PETRÓLEO	GÁS NATURAL	POTENCIAL HIDRÁULICO TOTAL
NORTE	0,5	11,1	40,6
NORDESTE	5,7	9,6	8,9
SUDESTE	93,8	79,3	17,7
SUL	0,0	0,0	16,7
CENTRO- OESTE	0,0	0,0	16,0

Fonte: EPE, 2015.

Os impactos ambientais associados aos projetos hidrelétricos se enquadram em três categorias principais. Estes consistem em impactos nas mudanças climáticas globais, impactos ambientais locais e impactos ambientais em toda a bacia (KAHN *et al.*, 2014). O uso de fontes de energia como hidrelétricas tem sido uma opção viável em relação ao uso de combustíveis fósseis, porém num quadro de redução de taxas de emissão de GEE o aperfeiçoamento tecnológico para outras fontes e substituição do capital social depreciado pela usina é necessário.

Projetos de hidrelétricas com reservatórios (hidrelétricas com armazenamento) ofertam um grande arranjo de serviços de energia assim como base de carga, pico e armazenamento de energia, além de agir como regulador de outras fontes. Em adição, frequentemente, entrega serviços que vão além do setor energético, incluindo controle de inundação, fornecimento de água, navegação, turismo e irrigação (IPCC, 2012).

Em contrapartida, a energia gerada pelas barragens amazônicas, muitas vezes, fazem pouco para melhorar a vida das pessoas que vivem perto dos projetos. No caso da UHE Tucuruí, isto é dramatizado pelas linhas de alta tensão passando sobre barracas iluminadas apenas por lamparinas de querosene (FEARNSIDE, 2015b). E ainda, esta população não é limitada às pessoas reassentadas da área de inundação, mas também incluem outras que são atraídas à área por causa das suas estradas, mercados, e oportunidades de emprego fora da agricultura (FEARNSIDE; FERNANDES, 2015). Isso demonstra que os impactos sobre a população não estão restritos a ação direta, sendo interessante incorporar o impacto sobre a população no entorno do empreendimento.

O Brasil hospeda 383 projetos submetidos na plataforma do MDL - destes 68 correspondem a projetos de hidrelétricas. Esta fonte energética tem sido foco de diversas discussões sobre seu perfil de emissão de GEE (FEARNSIDE; PUEYO, 2015; ROSA *et al.*, 2004, 2006; SANTOS *et al.*, 2008).

De acordo IPCC (2006), durante a década de 90, as hidrelétricas passaram a ser alvo de intensas especulações a respeito de como seus reservatórios estariam contribuindo para a

intensificação do efeito estufa, através da liberação de gases como produto da decomposição de material orgânico em sua bacia de acumulação. Isto gera emissões de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> em proporções relevantes. A emissão de gases de efeito estufa de Tucuruí em 1990 é equivalente a 7,0–10,1 milhões de tCO<sub>2</sub>e, uma quantia substancialmente maior que a emissão de combustível fóssil da cidade de São Paulo (FEARNSIDE, 2007).

O uso de fontes de energia como hidrelétricas tem sido uma opção viável em relação ao uso de combustíveis fósseis, porém seus impactos são ainda controversos. De acordo com (FEARNSIDE; FERNANDES, 2015b), existem diversas formas e fontes diferentes para o impacto atmosférico por estes empreendimentos:

- a) Difusão na área do reservatório – A partir da matéria orgânica inundada pelo reservatório, no processo de decomposição pela fauna existente na água.
- b) Ebulição na área do reservatório – Essa produção é liberada através de bolhas que sobem até a superfície do reservatório, onde são emitidas para a atmosfera.
- c) Desgaseificação nas turbinas e vertedouros – Resultado da mudança de pressão e temperatura que acontece no fluxo de descarga depois dos pontos de queda de nível, tais como turbinas e vertedouros.
- d) Desmatamento na área de entorno do empreendimento – A atração de atividades para o entorno da barragem gerando retirada da floresta nativa, mudança do uso do solo e perda de biomassa. Dióxido de carbono também será emitido pelo desmatamento estimulado perto da barragem (FEARNSIDE, 2016).

É importante considerar para um empreendimento hidrelétrico que a perda de vegetação pode ocorrer não só por causa da inundação direta, mas também pelo desmatamento por residentes deslocados pelo reservatório e por imigrantes e investidores atraídos para a área (inclusive pela construção de estradas até os locais das barragens), e o agronegócio viabilizado pelas hidrovias associadas às barragens (FEARNSIDE; FERNANDES, 2015b). Por conseguinte, essas grandes mudanças na cobertura florestal têm importantes implicações quanto à perda de biodiversidade e outros serviços ambientais, emissão de gases que contribuem para o efeito estufa e à prosperidade da sociedade da Amazônia a longo prazo (SOARES-FILHO *et al.*, 2005).

Temos como exemplo de impacto indireto destes empreendimentos, como apresentado por Fearnside (2015c), a respeito da hidrelétrica de Samuel que se situa em uma das áreas com as taxas de desmatamento mais altas do planeta: na época quando a construção começou em 1982 a população de Rondônia estava crescendo exponencialmente à taxa de 16% por ano e as

áreas desmatadas estavam se expandindo a mais de 29% por ano correspondendo a tempos de duplicação de somente 4,3 e 2,4 anos, respectivamente. Barreto *et al.* (2011) afirmam que o aumento da população seria a maior mudança associada ao projeto da UHE Belo Monte e isto gera efeito direto no desmatamento.

Analisando outra hidrelétrica com fortes controvérsias, temos a UHE Santo Antônio, construída no Rio Madeira, em 2008 e entrando em funcionamento em 2012. Este empreendimento foi submetido a venda de créditos de carbono com o PDD de número 9582 sob aplicação da versão 13 da ACM0002. Considerando o mesmo escopo de projeto e também reunindo estudo realizado para esta UHE temos a Figura 2 que apresenta as variações encontradas. Percebe-se então que a implantação destes empreendimentos ainda não possui metodologia definida e assim, encontram-se lacunas sobre a adicionalidade do projeto. Compreender a interferência do controle ambiental no desmatamento, de acordo Barreto *et al.* (2011), é essencial pois o impacto do aumento populacional pode ter magnitudes diferentes dependendo da política de controle do desmatamento.

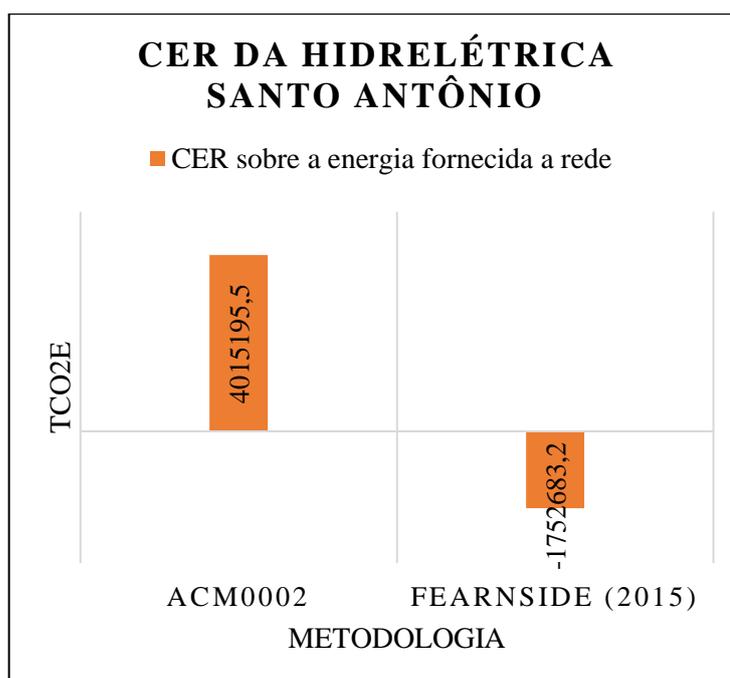


Figura 2 - Cálculos de emissões de GEE pela hidrelétrica Santo Antônio com variações metodológicas. Fonte: (FEARNSIDE, 2015a; SANTO ANTÔNIO ENERGIA S.A., 2013)

## 2.4. MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS

O desenvolvimento de modelos se tornou uma ferramenta que permite melhor compreensão dos eventos no planeta. Virtualmente todos os fenômenos ambientais podem ser concebidos como sistemas dinâmicos, demonstrando mudanças através do tempo e envolvem numerosos componentes inter-relacionados (DEATON; WINEBRAKE, 2000). Os modelos

procurando sintetizar os sistemas tem a finalidade de fornecer um quadro global da totalidade dos sistemas, estabelecendo o grau de conhecimento sobre as partes componentes, interações entre os elementos e funcionamento interativo entre os inputs e outputs do sistema (CHRISTOFOLETTI, 1999). Um tipo destes é o um modelo espacialmente explícito, que consiste em uma representação bidimensional da configuração inicial da paisagem, da função de sua mudança, composta pela sua quantificação e alocação, e também do mapa de saída, que representará a paisagem simulada para o evento analisado (SOARES-FILHO *et al.*, 2007).

De acordo Soares-Filho (2016), as etapas do processo de modelagem são:

- Definição de objetivo – O que o modelo buscar representar.
- Desenvolvimento do diagrama do modelo conceitual do sistema – Esquema gráfico das entidades, fluxos e variáveis envolvidas.
- Demonstração do sistema físico.
- Parametrização – Equacionamento, nesse momento também é possível realizar parametrização.
- Calibração – Através de testes compreende ponto possível para otimização do modelo.
- Validação – Para cada tipo de modelo tem uma técnica de validação.
- Analisar cenários – Relacionar os cenários obtidos com o objetivo do modelo.

Esta abordagem pode ser implementada, por exemplo, com o software Dinamica EGO, que permite a construção de modelos de autômatos celulares que simulam as mudanças do uso e cobertura da terra de maneira espacialmente explícita (SOARES-FILHO *et al.*, 2009a).

Fearnside *et al.* (2009) afirmam que modelos de autômatos celulares são capazes de simular os padrões espaciais do desmatamento incorporando um mapa de probabilidades representando a influência integrada de dados cartográficos na alocação do desmatamento.

Modelos fundamentados em autômatos celulares, tal como o Modelo de mudança de uso do solo (LUCC), podem ser entendidos como sistemas de dinâmica espacial, no qual o estado de cada célula dentro de um arranjo espacial (grade de células) depende do estado prévio das células de vizinhança, de acordo com um conjunto de regras de transição estabelecido (FEARNSIDE *et al.*, 2009).

Por outro lado, o modelo CARLUC (do inglês, CARbon and Land-Use Change) desenvolvido por Hirsch *et al.* (2004) corresponde a um modelo numérico de ciclo de carbono que fornece uma estrutura para estudar os impactos do desmatamento, corte seletivo, incêndio

acidental e recuperação florestal subsequente sobre o orçamento global de carbono. Ou seja, um modelo que simula fluxos de carbono dentre os componentes da floresta e entre ela e a atmosfera (RODRIGUES *et al.*, 2007).

O primeiro passo ao processamento do modelo de mudança de uso do solo é a identificação da transição de estudo, tal que será ponto de partida as análises futuras. A partir dos mapas da paisagem observada, o software realiza a estimativa da quantidade de mudanças, com base em cadeias markovianas, o que resulta numa matriz de transição contendo as taxas de mudanças a serem usadas na simulação (LIMA *et al.*, 2013).

Dentro do processo de calibração são elaborados testes como pesos de evidências que permitam avaliar e quantificar a influência de determinada variável sobre um determinado evento. Baseado nisso, tem-se o teorema da probabilidade condicional de Bayes (BONHAM-CATER, 1994), que utiliza probabilidades condicionadas a estes dados para estabelecer a relação entre presença/ausência de mudança (LIMA *et al.*, 2013). Valores positivos de pesos favorecem uma associação, enquanto valores negativos indicam refração a transição (SOARES-FILHO *et al.*, 2009b). Lima *et al.* (2013) explicam que no DINAMICA EGO é utilizado a lógica dos autômatos celulares, através dos funtores *patcher* e *expander*, para alocar as mudanças descritas pela taxa de transição condicionando as probabilidades das transições para cada célula.

Em estudo Soares-Filho *et al.* (2009) demonstraram o efeito de comparação do grau de refração ao desmatamento entre as categorias de áreas protegidas e apresentou que áreas protegidas são inibidoras do desmatamento, demonstrando valores negativos para os pesos de evidências. Neste caso específico, peso de evidência (W+) consistiu numa razão entre as chances de ocorrer desmatamento dentro e fora das áreas protegidas.

O efeito de cada variável pode ser calculado independentemente de uma solução conjunta, tendo como premissa apenas que as variáveis de entrada sejam espacialmente independentes (SOARES-FILHO *et al.*, 2003), o que é comprovado através do critério de Crammer. Assim, o sistema LUCC é utilizado aqui na demonstração do comportamento do desmatamento na Amazônia.

A interação dos efeitos dos pesos das variáveis calibrados com a taxa de mudança do evento baseia o modelo e gera uma projeção teste. Então, a validação corresponde a análise desta sobre período de observação com testes de similaridade e permite conferir a efetividade deste sistema. Para esta etapa, o método é baseado na incerteza da localidade da célula, na qual a representação da mesma é influenciada por ela e suas vizinhas (HAGEN, 2003). Através da análise da similaridade entre projeção do modelo e dados observados, com diferentes janelas

de conjunto de células, é possível demonstrar quanto o modelo corresponde a realidade. Uma vez que esta informação seja satisfatória ao estudo, a geração de cenários apresentará simulações futuras de acordo o comportamento obtido no período observado.

Por outro lado, existe um modelo de ciclo de carbono baseado em processos (CARLUC), especialmente explícito, para prever o armazenamento de carbono florestal maduro e o re-crescimento florestal em vez de usar mapas digitais de biomassa derivados de dados de inventário florestal e assumindo que a taxa de re-crescimento é proporcional para a biomassa florestal madura.

Estas informações demonstram o comportamento da floresta e buscam explicitar, em toneladas de carbono, a distribuição de biomassa no solo por período de tempo. À vista disso, é possível relacionar a mudança de uso do solo com a biomassa que será retirada neste evento. Estimativa da biomassa florestal é essencial para poder estimar a magnitude das emissões do desmatamento, as emissões sendo diretamente proporcionais a este parâmetro (FEARNSIDE, 2007).

De acordo Soares-Filho *et al.* (2005) existe um importante desafio para a comunidade científica que consiste em simular os efeitos da infraestrutura de transporte nos padrões regionais de mudanças de uso e cobertura do solo. Isto pode ser considerado também para simulações sobre os impactos de grandes empreendimentos. Neste contexto o uso de modelos de simulação se torna uma ferramenta a essas análises, pois modelos de simulação podem ser considerados como uma descrição do sistema real (MELLO, 2007).

Com interesse em delinear as simulações destes modelos, compreende-se que a hidrelétrica está inserida na paisagem e para identificar os seus efeitos será necessário simular uma condição contrária a isso, isto é, cenário contra factual. Enquanto, a descrição do que é observado é considerada dentro de um cenário Business-As-Usual (BAU).

Com este foco, a integração do modelo de mudança de uso solo gerada pela hidrelétrica com o modelo CARLUC, criado por Hirsch *et al.* (2004), propõe demonstrar com maior proximidade os impactos gerados pela fonte de energia hidráulica através da alteração da cobertura do solo e emissão de GEE. O modelo *CARbon and Land-Use Change* (CARLUC) propõe gerar simulações de biomassa na região para quantificar as emissões geradas pela retirada da floresta. Portanto, busca relacionar a emissão pelo desmatamento atraído para área de influência da UHE.

## 2.5. USINA HIDRELÉTRICA TELES PIRES

O debate sobre o desenvolvimento no bioma Amazônico é antigo e ainda movimentado. Soares-Filho *et al.* (2008) apresentam que no passado houveram incentivos fiscais e políticas de colonização para a região gerando um desmatamento nesta época visto como positivo e com função de apropriação territorial. Este avanço também foi incentivado para a construção de grandes empreendimentos energéticos devido a disponibilidade hídrica desta região.

A construção da Usina Hidrelétrica (UHE) Teles Pires deve ser vista no âmbito do planejamento energético brasileiro, que leva em conta as projeções de consumo e de atendimento das demandas do mercado nacional por diversas alternativas tecnológicas disponíveis para a geração de energia (LEME-CONCREMAT, 2010). A UHE Teles Pires, de 1.820 megawatts, encontra-se em construção desde 2010 no rio Teles Pires, afluente do rio Tapajós, que, por sua vez, é afluente do Amazonas. O reservatório, de 135 km<sup>2</sup>, situa-se na fronteira entre os estados do Pará e Mato Grosso (FEARNSIDE, 2015b). A licença de operação deste empreendimento foi emitida em 19 de agosto de 2011 e a construção começou 3 dias depois, enquanto o enchimento do reservatório aconteceu em dezembro de 2014 (LEME-CONCREMAT, 2015).

De acordo LEME-CONCREMAT (2010), o local previsto para a implantação do eixo da futura UHE Teles Pires está inserido no baixo curso do rio Teles Pires, divisa entre os estados de Mato Grosso e do Pará, no limite a jusante de uma sequência de corredeiras e cachoeiras conhecidas como Sete Quedas, na divisa dos municípios de Jacareacanga, no Estado do Pará, e Paranaíta, no Estado de Mato Grosso. Na Área de Influência Indireta (AII) considerada no Estudo de Impacto Ambiental (EIA) do empreendimento temos as seguintes considerações sobre os municípios:

Segundo LEME-CONCREMAT (2010):

“Dada a distância e a difícil acessibilidade da sede municipal de Jacareacanga, bem como a incipiente estrutura urbana de Paranaíta, considerou-se como sendo indispensável integrar o município de Alta Floresta na AII, pois sua sede necessariamente deverá constituir-se em importante ponto de apoio para a logística do empreendimento, beneficiando-se diretamente dos investimentos que serão realizados, bem como sofrendo os impactos do incremento da demanda por serviços, especialmente de saúde e educação, entre outros”.

Desta forma, o estudo populacional dirigido no EIA correspondente a três municípios, demonstrados na Tabela 3, justifica-se como aqueles que irão assimilar a atração populacional.

O panorama recente mostra uma forte conexão da dinâmica do desmatamento aos cenários macroeconômicos nacional e global, incluindo aí questões ligadas à desvalorização do Real frente ao Dólar e tele conexões ao mercado chinês e a de outros grandes consumidores de bens agrícolas (NEPSTAD *et al.*, 2006). Existe então uma atração de atividades para o entorno da barragem gerando retirada da floresta nativa, mudança do uso do solo e perda de biomassa. Dióxido de carbono também será emitido pelo desmatamento estimulado perto da barragem (FEARNSIDE, 2016). Além da pecuária, a expansão do agronegócio, a profusão de projetos de assentamentos e a abertura de pavimentação de estradas contribuíram para a manutenção de elevadas taxas de desmatamento (SOARES FILHO *et al.*, 2009).

Tabela 3 - Projeção populacional com a implantação da UHE, de acordo o EIA da mesma.

<b>BAIXO TELES PIRES</b>	<b>1991</b>	<b>2000</b>	<b>2007</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2017</b>
<b>JACAREACANGA</b>	-	22.078	37.055	45.203	59.051	64.510
<b>ALTA FLORESTA</b>	66.926	46.982	49.116	50.619	55.206	57.313
<b>PARANAÍTA</b>	12.173	10.254	11.540	12.182	14.108	14.976

Fonte: Leme-Concremat (2010)

Além da perspectiva de ampliação da rede nacional de produção de energia elétrica, convergiu neste empreendimento ações de investimento ao projeto com venda de CERs através do MDL, através da submissão do projeto 9301: Teles Pires Hydropower Plant Project Activity (ECOPART, 2012). De acordo o PDD, a usina foi comparada a uma termelétrica com mesmo potencial de produção elétrica para a linha de base com quantidade anual média estimada de 2,499,498 tCO<sub>2</sub> e em reduções de emissões de GEE para o período de 2015 a 2025, com período de crédito fixo, isto corresponde ao total de CERs de 24,99 milhões de tCO<sub>2</sub>e. Neste documento, os proponentes afirmam que não haverá emissão do reservatório do projeto considerando sua densidade de potência de 13,51 W/m<sup>2</sup>, ou seja, maior que 10 W/m<sup>2</sup> (ECOPART, 2012).

Conforme apresentado neste capítulo existe a necessidade de integração deste tema e no próximo capítulo será apresentada a metodologia baseada nestas informações para o desenvolvimento da pesquisa.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

O processo investigativo para a simulação de impacto no uso do solo relacionado a UHE corresponde as seguintes etapas:

- Estabelecimento da área de influência utilizada como base de análise;
- Estrutura para relação entre a população e desmatamento a partir da qual há estimativa da área total sob risco de desmatamento em cenários com e sem a hidrelétrica utilizando a variação populacional na região;
- Procedimento para projeção espacial da mudança de uso do solo estimada;
- Cálculo de emissões pela biomassa retirada do solo.

As ferramentas de geoprocessamento são essenciais devido a extensão da área espacial e relevância em análises ambientais, isto viabiliza estudos com menor dependência de amostras diretas em campo tornando a possível a investigação ambiental com menor custo e coerente ao método científico. Neste aspecto, os softwares ArcGIS versão 10.1 (ESRI,2012) e Dinâmica EGO versão 4.0 (CSR/UFMG, 2015) foram utilizados para elaboração das imagens e análises das mesmas.

A base de dados foi georreferenciadas para o sistema Sul-Americano CGS de 1969 com projeção Albers Cônica em formato GeoTIFF com resolução espacial de 60 por 60 metros.

#### **3.1. ÁREA DE INFLUÊNCIA**

A Usina Hidrelétrica de Teles Pires foi o centro da área de estudo a partir do qual tomou-se buffer de 10 quilômetros (km) de acréscimo de raio até 150 km de distância da construção, como realizado por Alencar (2016) para estudo sobre a Usina Hidrelétrica de Belo Monte e Barreto et al. (2011) apresentaram que até o raio de 150 km da UHE Tucuruí o crescimento populacional foi 50% maior do que no restante do Pará. Portanto, esta máscara foi utilizada para análise da paisagem como apresentado na Figura 3, atingindo 71249,4216 quilômetros quadrados (km<sup>2</sup>) de extensão. A região de análise inclui, parcial ou totalmente, os municípios do estado do Pará e Mato Grosso conforme apresentado na Tabela 4 e Figura 3.

Os municípios que intersectam o espaço analisado em menos de 10% de sua área foram desconsiderados dos estudos populacionais, dado a incerteza em quantificar as populações específicas a estas parcelas.

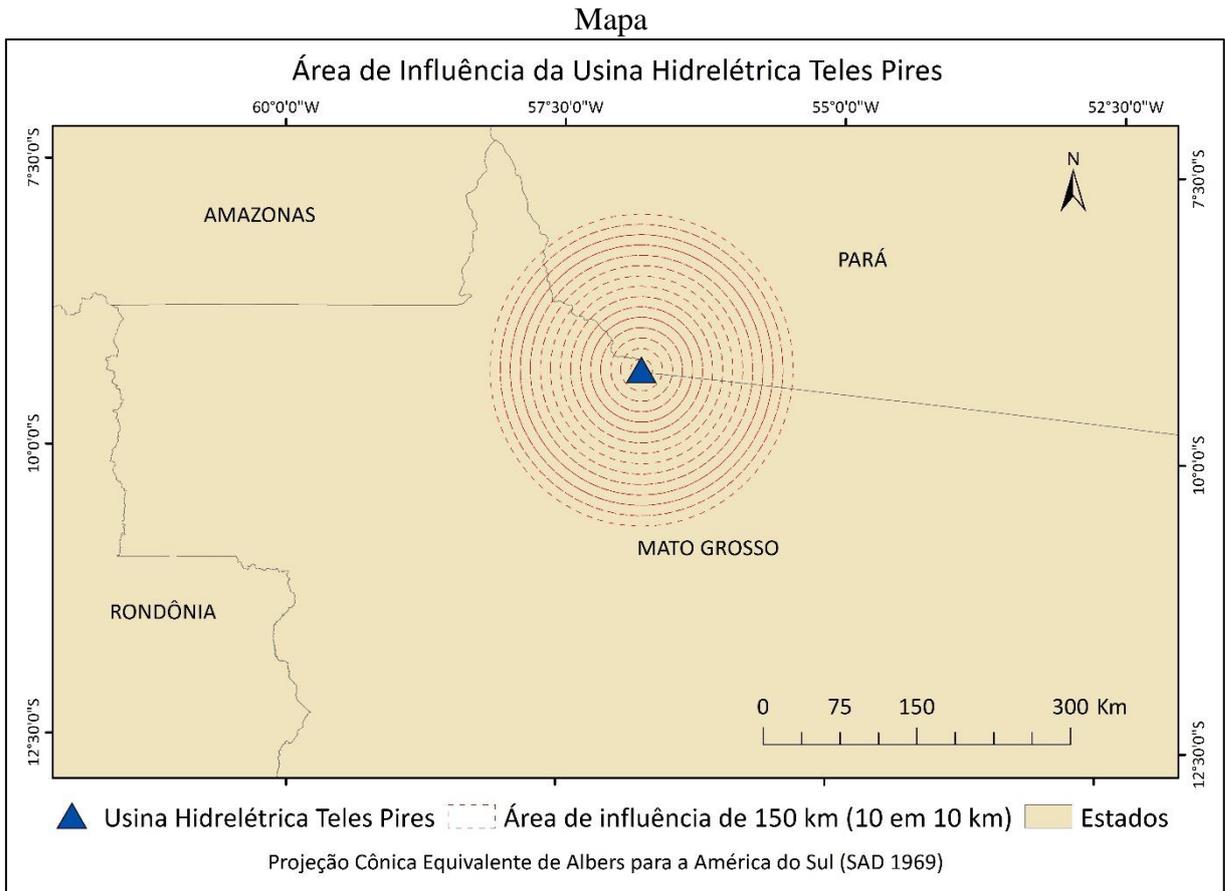


Figura 3 - de localização da UHE Teles Pires e área de influência. Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 4 - Municípios na área de estudo da UHE Teles Pires.

<b>Município</b>	<b>Estado</b>	<b>Área total (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Interseção na área de estudo (%)</b>
Alta Floresta	MT	8946,90	99,84
Apiácas	MT	20364,28	54,51
Carlinda	MT	2416,91	88,84
Itaituba	PA	62037,17	3,094
Jacareacanga	PA	53303,09	33,78
Juara	MT	21387,56	9,26
Nova Bandeirantes	MT	9530,90	40,43
Nova Canãa do Norte	MT	5969,70	11,71
Nova Monte Verde	MT	6500,33	100
Novo Mundo	MT	5801,60	36,21
Novo Progresso	PA	38167,08	23,12
Paranaíta	MT	4830,03	100
Tabaporã	MT	8226,13	4,98

Fonte: Elaboração da autora.

### 3.2. PROJEÇÃO DA ÁREA TOTAL DESMATADA

A relação entre a variação populacional na região com a área desmatada é uma premissa considerada para projetar a taxa de desmatamento indireto. De acordo Barreto *et al.* (2011), a população total tem sido altamente correlacionada com a área total desmatada na Amazônia, da mesma forma as políticas públicas de fiscalização demonstraram tendências relevantes para o controle do desmatamento. Estes parâmetros são considerados nesta análise para melhor demonstração dos cenários com e sem a hidrelétrica.

A área total desmatada projetada foi obtida em três etapas como apresentada na Figura 4. Primeiramente, simulou-se a população inserida no estudo para 15 anos considerando dois cenários de crescimento populacional, com e sem a UHE. Paralelamente, relacionou-se a população na área de estudo com as áreas desmatadas, no período de 2000 a 2010, para estimar a função que demonstre a relação entre população e desmatamento na região. Então, foi possível projetar a área total desmatada através da função obtida e com os valores da projeção populacional até 2025.

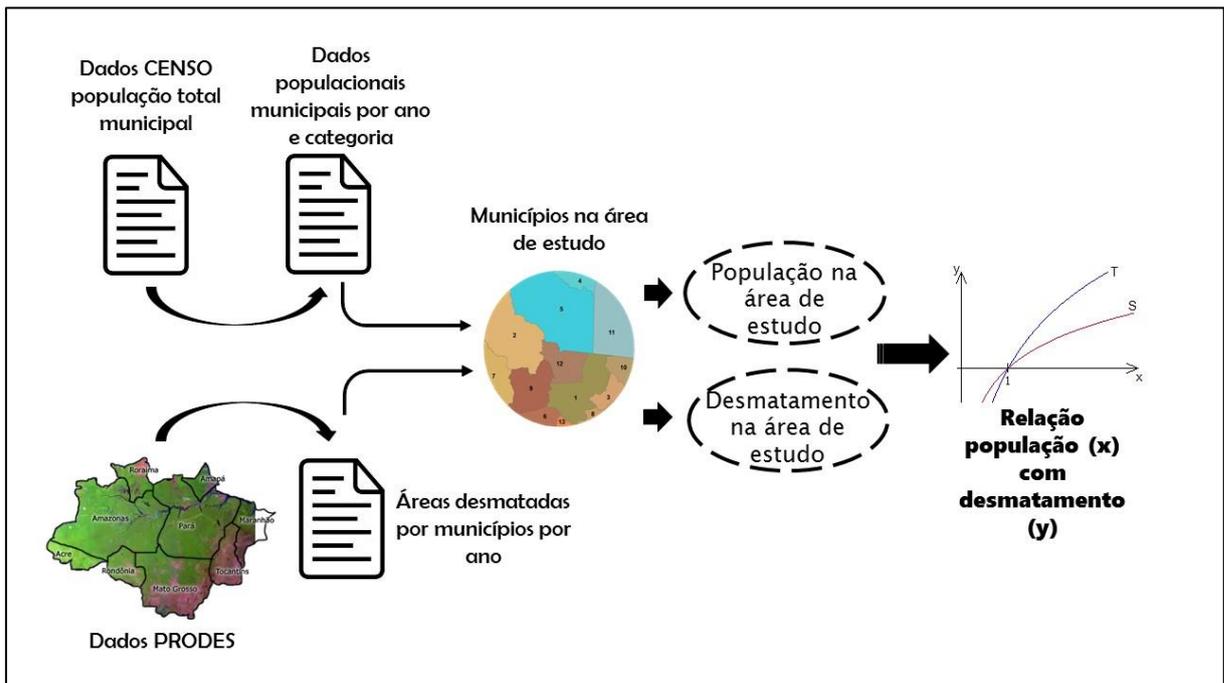


Figura 4 - Etapas para desenvolvimento da relação entre população e desmatamento. Fonte: Elaboração da autora.

A população considerada na área de influência é relativa a presença da área urbanizada (maior concentração populacional) e parcela do território municipal na área de influência. A população total na área foi obtida através dos censos 1980, 1991, 2000 e 2010 (IBGE, 2010). Destes trabalhos foram coletadas informações de população total, rural, urbana e taxas de crescimento geral e urbana, estes estão apresentados na Tabela 5. Para a década de 2000 a 2010, foi possível estimar os dados de população total anual.

Tabela 5 - Dados sobre a população dos municípios analisados para 2000 e 2010.

CIDADE	2000					2010				
	Total	Urbana	Rural	Taxa de crescimento	Taxa de crescimento urbano	Total	Urbana	Rural	Taxa de crescimento	Taxa de crescimento urbano
Alta Floresta	46982	37287	9695	-3,86%	-0,06%	49164	42718	6446	0,46%	0,0137
Apiacás	6665	4465	2200	-1,10%	-0,29%	8567	6377	2190	2,54%	0,0363
Carlinda	12296	3074	9222			10990	4575	6415	-1,12%	0,0406
Jacareacanga	22078	5670	16408			14103	4930	9173	-4,38%	-0,0139
Nova Bandeirantes	6951	1872	5079			11643	4062	7581	5,29%	0,0805
Nova Canaã do Norte	11516	4903	6613	-2,17%	-0,66%	12127	6816	5311	0,52%	0,0335
Nova Monte Verde	6827	2197	4630			8093	3973	4120	1,72%	0,0610
Novo Mundo	4997	2335	2662			7332	2883	4449	3,91%	0,0213
Novo Progresso	24948	9151	15797			25124	17717	7407	0,07%	0,0683
Paranaíta	10254	5505	4749	-1,89%	-2,04%	10684	5652	5032	0,41%	0,0026

Fonte: IBGE, 2010.

A população envolvida na área de influência está baseada em sua localização, urbana ou rural, no período entre 2000 a 2010. Onde a população urbana do ano é resultado da multiplicação da população urbana do ano anterior com o fator (1 + taxa de crescimento urbana), assim a população rural é obtida pela redução do contingente total municipal pela parcela que está em área urbanizada.

Nos casos onde não há totalidade do município no estudo, foi possível considerar a população que participa do estudo através da fórmula abaixo:

Equação 2 - População municipal estimada na área de estudo.

$$P_e = (P_r \times d) + P_u$$

Onde:

**P<sub>e</sub>** = População estimada na área de estudo.**P<sub>r</sub>** = População rural segundo o censo.**d** = percentual da parcela do município na área de influência.**P<sub>u</sub>** = População urbana total, caso a sede do município esteja inclusa na área de estudo.

A população total na área de influência é obtida então, pelo somatório destas populações dos municípios. Perfazendo assim, dados anuais da população na área, que são considerados para relação com o desmatamento neste período.

O mapa de monitoramento ao desmatamento (INPE, 2017) permite quantificar os incrementos anuais de desmatamento que ocorreram no período de 2000 a 2010. Identifica-se assim as parcelas de desmatamento em cada município de trabalho. A fim de relacionar

população e desmatamento, dado que os dados populacionais ocorrem de forma acumulativa, trata-se as áreas desmatadas da mesma forma. Esta abordagem colaborou para identificação dos cenários conforme Tabela 6. Notou-se que do período de 2000 a 2005 há uma distinção de comportamento com o período de 2006 a 2010, quando relacionado às populações encontradas na região de estudo. Desta forma, utilizou-se o segundo período para descrição do desmatamento, uma vez que este se aproxima da tendência atual e apresenta reflexos das políticas contra do desmatamento. De acordo, Barreto et al. (2011) a lógica logarítmica é aplicável para a descrição desta tendência.

Tabela 6 - Cenários usados para projetar as áreas desmatadas

Tendência ao desmatamento (2006 a 2010)	
SEM UHE ( <b>Contrafactual</b> )	COM UHE ( <b>BAU</b> )

Sequencialmente, para a aplicação destas tendências, realizou-se projeção tendencial da população de acordo a fórmula para o período de 2011 a 2025:

Equação 3 - Projeção populacional de acordo taxa de crescimento geométrica.

$$P_t = P_0 \times (1 + i)^t$$

Na qual:

**P<sub>t</sub>** = População projetada para tempo t

**P<sub>0</sub>** = População no tempo inicial, ou no ano do último censo antes da projeção.

**t** = Tempo (ano) para o qual se está projetando

**i** = Taxa de crescimento populacional geométrico.

Para condição Contrafactual considerou-se a base dos dados populacionais do censo IBGE e para a condição BAU os dados correspondem àqueles encontrados na Tabela 3. Para ambas as condições as parcelas municipais foram utilizadas para ponderar a população através do critério d na Equação 2. Utilizando os quantitativos populacionais projetados para a área de estudo, entre os anos de 2011 a 2025, foi possível calcular a área desmatada acumulada anual no mesmo período.

A estimativa do desmatamento acumulado foi mais prudente do que estimar taxas anuais que são influenciadas por muitos fatores fora do controle do projeto e de difícil previsão como os preços de mercadorias agrícolas (BARRETO et al., 2011).

### 3.3. MODELAGEM DE MUDANÇA DA COBERTURA DO SOLO

A espacialização das áreas do desmatamento projetadas será realizada com o modelo de mudança de uso do solo, assim que este reflita o comportamento da área de estudo para a mudança de floresta para desmatamento. A transição da classe floresta para desmatamento foi

acompanhada através das variáveis apresentadas na Tabela 7. O principal objetivo deste processo é alocar as áreas de desmatamento projetadas nos cenários com e sem a hidrelétrica.

Tabela 7 - Base de dados utilizado no modelo para mudança da cobertura do solo.

Dado	Variável	Tipo	Formato	Ano	Fonte
Altimetria	Altitude	Estática	Contínuo	2000	MAPA
Tipos vegetacionais	Vegetação	Estática	Catégorico	1978	IBGE – RADAM BRASIL
Tipos de Solos	Solos	Estática	Catégorico	2001	IBGE – EMBRAPA SOLOS
Áreas protegidas	Áreas protegidas	Estática	Catégorico	2017	Soares-Filho (2010)
Rodovias	Distância de			2015	DNIT
Estradas vicinais	rodovias e estradas vicinais	Dinâmica	Contínuo	2016	Soares-Filho et al.
Portos PNLT	Distância de portos	Estática	Contínuo	2008	CENTRAN
Polos madeireiros	Distância de polos madeireiros	Estática	Contínuo	2017	IMAZON
Principais rios do Brasil	Distância de rios	Estática	Contínuo	2010	ANA – CSR/UFMG
Rede de drenagem nacional	Distância de rede de drenagem	Estática	Contínuo	2010	ANA
Estrutura planejada da UHE	Distância da UHE Teles Pires	Estática	Contínuo	2017	IBAMA
Uso da terra	Distância de áreas de mineração	Estática	Contínuo	2004	MMA
Uso da terra	Distância de áreas de agricultura	Estática	Contínuo	2004	MMA
Uso da terra	Distância de áreas de pecuária	Estática	Contínuo	2004	MMA
Assentamentos Rurais fixados no Brasil	Distância de assentamentos	Dinâmica	Contínuo	2017	INCRA
PRODES – Monitoramento de Desmatamento na Amazônia Legal	Desmatamento	Estática	Catégorico	2017	INPE
Estradas pavimentadas e não pavimentadas	Distância de estradas e rodovias COM UHE	Dinâmica	Contínuo	2017	IBAMA

Áreas de Preservação  
Permanente do reservatório e  
Unidades de Conservação

Áreas protegidas  
pela UHE

Estática

Catagórico

2017

IBAMA

As informações sobre o mapeamento do desmatamento foram obtidas pelo mapa do PRODES onde existem 25 classes, algumas destas específicas da área como hidrografia e nuvem, e outras correspondem ao desmatamento anterior, e em 1997, e o incremento anual deste e também anualmente de 2000 a 2015. Para expressar a paisagem em cada ano do estudo, houve a reclassificação. As classes de desmatamento e floresta foram agregadas para retratar o ano de interesse, isto é, as classes de desmatamento até determinado ano são reunidas como uma classe deste evento e as categorias que demonstram desmatamento além do ano específico são incluídas na categoria floresta. Para exemplificar, o mapa para o ano 2005 terá as classes: Desmatamento até 2004 (1), não-floresta (2), nuvem (3), não-floresta2 (4), floresta em 2005 (5), resíduo (6) e hidrografia (7).

A coleção de variáveis é representada nos formatos categóricos e contínuos ou por tipo estático ou dinâmico. Variáveis contínuas demonstram informações como distância de objetos e assim apresentado na Figura 5. Nesta mesma figura temos outro tipo utilizado que são aquelas dinâmicas, como áreas protegidas, que apresentam novas áreas com o passar do tempo e assim são incluídas ao modelo.

A construção de modelo de mudança de uso do solo ocorreu por obtenção da matriz de transição, desenvolvimento dos pesos de evidências, análise da correlação entre as variáveis. Estas informações demonstram o comportamento gerado na região pela dinâmica entre a população e o desmatamento na área de estudo.

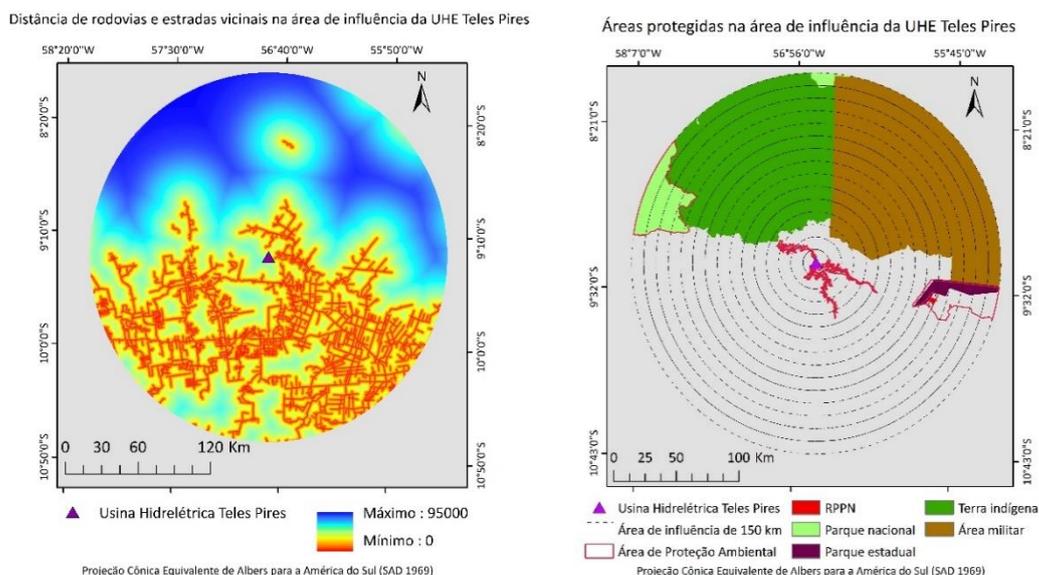


Figura 5 - Variável tipo contínua (Distância de rodovias e estradas vicinais) e variável dinâmica (Áreas protegidas). Fonte: (DNIT,2015); (LEME-CONCREMAT, 2010); Soares-Filho (2010); Soares-Filho (2016).

Todas as etapas são realizadas no DINAMICA EGO (CSR/UFMG, 2015) através de funtores que realizam as operações algorítmicas. De acordo Rodrigues *et al.* (2007), um functor pode ser entendido como um processo que atua sobre um conjunto de dados de entrada sobre o qual é aplicado um número finito de operações, produzindo como saída um novo conjunto de dados. Este mecanismo colabora ao desenvolvimento deste estudo pois permite realizar a análise espacial do desmatamento em torno das hidrelétricas de forma sistemática e permitindo configurações pontuais para melhor projeção.

A primeira etapa foi análise de mudança de uso e cobertura do solo de floresta para desmatamento. A matriz de transição corresponde a quantidade de células (pixels) transformadas entre a paisagem inicial (2000) e a final (2010), então este valor dividido pela quantidade de células que existia na imagem inicial total conforme Figura 6.

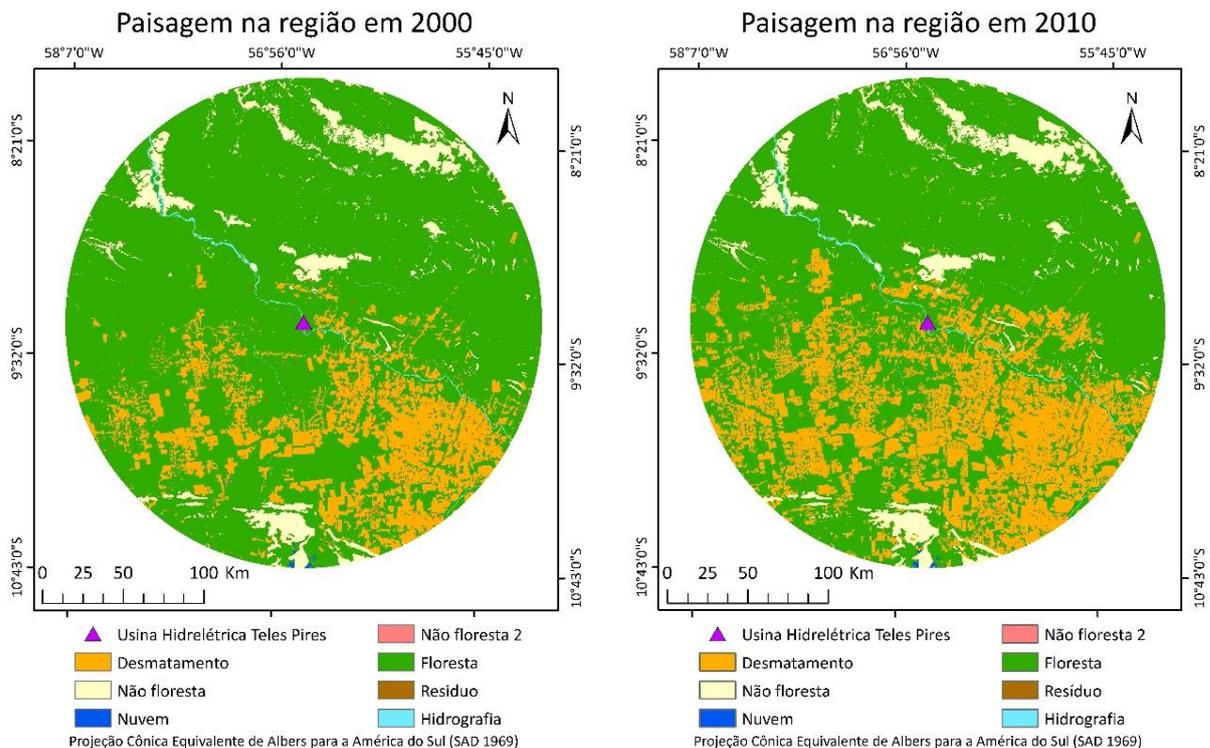


Figura 6 - Paisagem inicial e final para o período de calibração. Fonte: Elaboração da autora com dados PRODES (2016).

A projeção espacial das áreas desmatadas está relacionada ao modelo de uso e ocupação do solo, onde na construção deste foram realizadas as etapas de parametrização, validação e enfim a simulação.

A parametrização corresponde a análise de influência das variáveis sobre o desmatamento. Primeiramente, cada variável é dividida em faixas de análise e para cada uma será atribuído um peso de evidência ao desmatamento na região. Para alocar as variáveis de

transição da dinâmica espacial, utiliza-se o método estatístico-empírico Pesos de Evidência (ALMEIDA *et al.*, 2008) para calcular a probabilidade de transição (SOARES-FILHO *et al.*, 2009a). Neste processo configurou-se o delta de análise para favorecer que o mesmo encontre melhor expressão das classes sobre o evento analisado em cada variável. Os coeficientes dos pesos permitem inferir quanto e quais faixas das variáveis influenciam espacialmente na transição.

O estudo da correlação permitiu avaliar as variáveis para evitar a duplicação de dados e também reduzir a complexidade do modelo, uma vez que o aumento de variáveis relevantes influencia diretamente nisso.

Neste modelo, as variáveis como distância de assentamentos e distância de áreas protegidas são consideradas dinâmicas devido a criação de novas áreas de assentamentos assim como áreas protegidas dentro do período de calibração.

Após a parametrização, na calibração é feita a aplicação das etapas anteriores a imagem inicial a fim de simular a paisagem no ano final e tais produtos permitem analisar a similaridade do modelo às imagens observadas no intuito de garantir a validade deste modelo para a transição de trabalho.

Os funtores “*patcher*” e “*patcher expander*” foram utilizados para a alocação das áreas projetadas de desmatamento, pois trabalham diretamente na formação de manchas dos mapas. A junção destes permite maior aproximação a dinâmica espacial do desmatamento.

A validação permite comparar para um mapa simulado para determinado ano final (2010), relativo ao período de calibração com a paisagem observada daquele ano. Neste passo, também é obtido um mapa probabilístico para a transição, interpreta-se tal como risco ao desmatamento. A validação do modelo foi feita por meio do método proposto por Hagen (2003) e adaptado por Almeida e colaboradores (2008) para o software Dinamica EGO (CSR/UFMG, 2015), que é o método de mínima similaridade utilizando janelas múltiplas e uma função de decaimento exponencial. Na etapa de validação, o mapa de similaridade mínima corresponde à similaridade obtida comparando as mudanças simuladas com as mudanças reais (SOARES-FILHO *et al.*, 2009).

A representação desta etapa ocorre por duas ponderações, máxima e mínima similaridade. Com objetivo de resguardar melhoria ao modelo são considerados os valores encontrados neste, uma vez que apresenta inferências sobre as menores quantidades de pixels equivalentes entre a imagem simulada e a observada.

No momento que o modelo representa a dinâmica espacial do desmatamento, é possível realizar a projeção das áreas obtidas no tópico 3.2 para o período de 2011 a 2025. Para isso, estas áreas são formatadas a incremento anual por hectare e incorporadas ao modelo como matriz de transição anual. Desta forma, o modelo irá alocar o quantitativo de área de acordo ao mapa probabilístico gerado pelo modelo.

A configuração para a existência da UHE Teles Pires se diferencia de ausência do empreendimento, pela incorporação de áreas desmatadas devido a implantação da hidrelétrica, isto é, criação ou melhoria de estradas, construções e reservatório, tais informações estão apresentadas na Figura 7. As áreas protegidas de responsabilidade do empreendimento são agregadas como fator limitantes a transição, de acordo o ano de criação. Com esta descrição, a variável distância de rodovias e estradas vicinais se torna dinâmica para incorporar as mudanças locais.

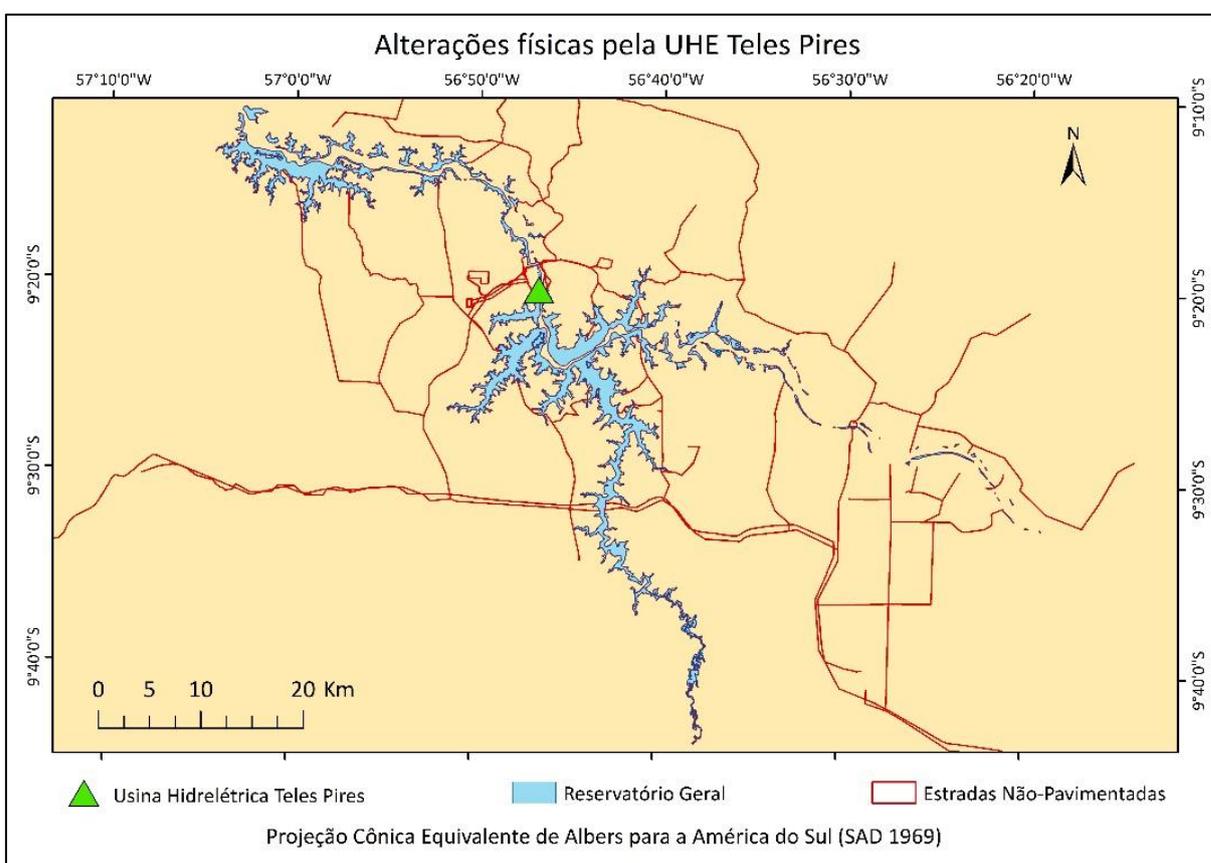


Figura 7 - Reservatório, estradas e construções para a hidrelétrica Teles Pires. Fonte: Leme-Concremat, (2010).

Finalmente, as áreas desmatadas perante os 2 cenários é gerada com passo anual para 2025. As projeções servirão de base para comparação com mapa de biomassa da região e consequentemente a análise de impacto atmosférico.

### **3.4. CÁLCULO DE EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA**

A distribuição espacial de biomassa foi obtida através do estudo de Santos (2018). Neste demonstrou-se, através do modelo CARLUC, o comportamento da composição florestal no bioma amazônico de acordo os parâmetros do IPCC para mudanças climáticas. Os mapas importados correspondem ao período de 2011 a 2025. A sobreposição destes mapas com a localização do incremento ao desmatamento projetado nos cenários permite contabilizar a biomassa que foi alterada nestas condições.

Os mapas de biomassa representam a mudança anual em toneladas de carbono por hectare (ton/ha) sendo contabilizados as células que intersectam com o incremento de desmatamento anual projetado no período de 2011 a 2025.

O somatório de biomassa anual permite estimar a emissão de GEE gerado por aquele cenário. Desta forma, os cenários BAU e contrafactual foram comparados, tal que a alteração entre estes demonstra o impacto relacionado a hidrelétrica. A fim de obter dados comparativos sobre o PDD da UHE Teles Pires, utilizou-se a metodologia ACM0002 para contabilizar as CERs incorporando o impacto descrito. Considerando que a transição apresentada aqui poderia ser incorporada como emissão por vazamento do projeto.

#### 4. RESULTADOS

A análise populacional realizada com as bases citadas permitiu caracterizar os municípios envolvidos e reconhecer as áreas com maior atração dos habitantes. Baseado nestas informações foi possível aplicar a Equação 2 e obter os quantitativos populacionais na área de influência do empreendimento, dados apresentados na Tabela 8. Aqui, nota-se que grande parte dos municípios possuem maiores populações rurais e que somente Alta Floresta possui mais de 40.000 habitantes, enquanto os demais possuem até 15.000 habitantes. Desta forma, os municípios que mais influenciam no estudo são Alta Floresta, Jacareacanga, Paranaíta e Carlinda, respectivamente.

A relação estabelecida na Equação 3 entre os totais populacionais e municipais gerou um panorama populacional para os cenários sem e com a implantação da UHE Teles Pires no período de 2011 a 2025, disposto na Tabela 10. Incluindo os dados da Tabela 3 em seus respectivos anos. Uma vez que a análise populacional utiliza dados acumulados, o mesmo tratamento é realizado com as áreas desmatadas a fim de equiparar as informações e garantir coerência.

As áreas desmatadas por município foram obtidas para a área de influência de acordo o PRODES conforme a Tabela 9. Nestas informações se destacam as cidades com maiores áreas desmatadas, isto é respectivamente, Alta Floresta, Alto Progresso, Nova Canaã do Norte, Nova Monte Verde, Nova Bandeirantes, Novo Mundo, Paranaíta, Apiacás e Carlinda. Sendo Jacareacanga aquela com menor incremento em desmatamento.

Os contingentes de população e áreas desmatadas foram relacionados e identificou-se dois períodos bem distintos. Entre 2000-2005, o desmatamento cresceu mais acelerado que 2006-2009, isso está evidenciado na Figura 8 pelas curvas azul e laranja, respectivamente. O refinamento desta relação foi feito através da lógica logarítmica, conforme Barreto *et al.* (2011). Embora dois comportamentos tenham sido observados durante o período de 2000 a 2010, considerou-se neste estudo o período 2006-2010 para representação de cenário BAU.

Tabela 8 - População na área de estudo (hab.).

Município	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Alta Floresta	46982	47003	47067	47107	47190	47236	47281	49140	51136	51414
Apiacás	6612	6558	6538	6494	6405	6358	6313	7886	8186	8341
Carlinda	11688	11216	10830	10432	9610	9157	8709	11552	11489	11562
Jacareacanga	8765	11315	13072	14248	16770	18139	19491	21259	23098	23977
Nova Bandeirantes	4249	4621	4884	5221	5811	6108	6481	8075	8538	9013
Nova Canaã do Norte	6127	6237	6339	6466	6574	6708	6853	7298	7541	7745
Nova Monte Verde	6827	7161	7412	7684	8254	8570	8883	8133	8443	8602
Novo Mundo	404	573	676	790	903	983	1030	1071	1135	1175
Novo Progresso	1343	1479	1514	1780	2121	2187	2344	609	523	387
Paranaíta	10254	9999	9843	9653	9253	9032	8812	11540	11950	12113
<b>Total</b>	<i>103253</i>	<i>106162</i>	<i>108175</i>	<i>109875</i>	<i>112891</i>	<i>114479</i>	<i>116197</i>	<i>126562</i>	<i>132040</i>	<i>134328</i>

Tabela 9 - Área desmatada acumulada por município (km<sup>2</sup>)

Município	1997	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Alta Floresta	3229,067	3704,411	3990,47	4123,865	4250,574	4480,247	4604,245	4701,107	4762,267	4777,29	4784,591	4787,464
Apiacás	561,8736	784,332	857,4084	1114,286	1455,606	1684,148	1831,903	1881,659	1955,11	2000,804	2014,751	2029,55
Carlinda	1357,294	1498,597	1560,866	1576,429	1585,505	1626,379	1642,057	1644,743	1651,637	1655,557	1655,791	1656,198
Jacareacanga	431,9748	547,5852	610,1208	718,7112	959,2884	1078,002	1156,748	1220,414	1253,297	1277,935	1292,792	1319,944
Nova Bandeirantes	977,112	1342,915	1416,611	1604,524	1834,556	2208,042	2501,806	2629,552	2769,844	2895,379	2947,644	2964,586
Nova Canaã do Norte	1879,981	2383,733	2495,927	2564,982	2641,277	2736,918	2809,336	2840,245	2874,373	2895,318	2900,369	2903,767
Nova Monte Verde	1243,908	1660,039	1784,113	1958,134	2137,007	2332,476	2439,338	2477,538	2518,416	2545,333	2552,317	2555,255
Novo Mundo	936,5436	1270,951	1529,503	1709,125	2010,096	2098,57	2231,669	2266,366	2318,566	2360,477	2372,551	2386,202
Novo Progresso	1275,739	1694,246	2021,85	2673,551	3053,588	3792,143	4019,825	4272,746	4620,647	4856,764	5174,266	5224,507
Paranaíta	919,2816	1265,803	1380,816	1512,99	1633,54	1842,052	1995,908	2051,06	2112,383	2154,071	2161,706	2171,567
<b>Total</b>	<b>12812,77</b>	<b>16152,61</b>	<b>17647,69</b>	<b>19556,6</b>	<b>21561,04</b>	<b>23878,98</b>	<b>25232,84</b>	<b>25985,43</b>	<b>26836,54</b>	<b>27418,93</b>	<b>27856,78</b>	<b>27999,04</b>

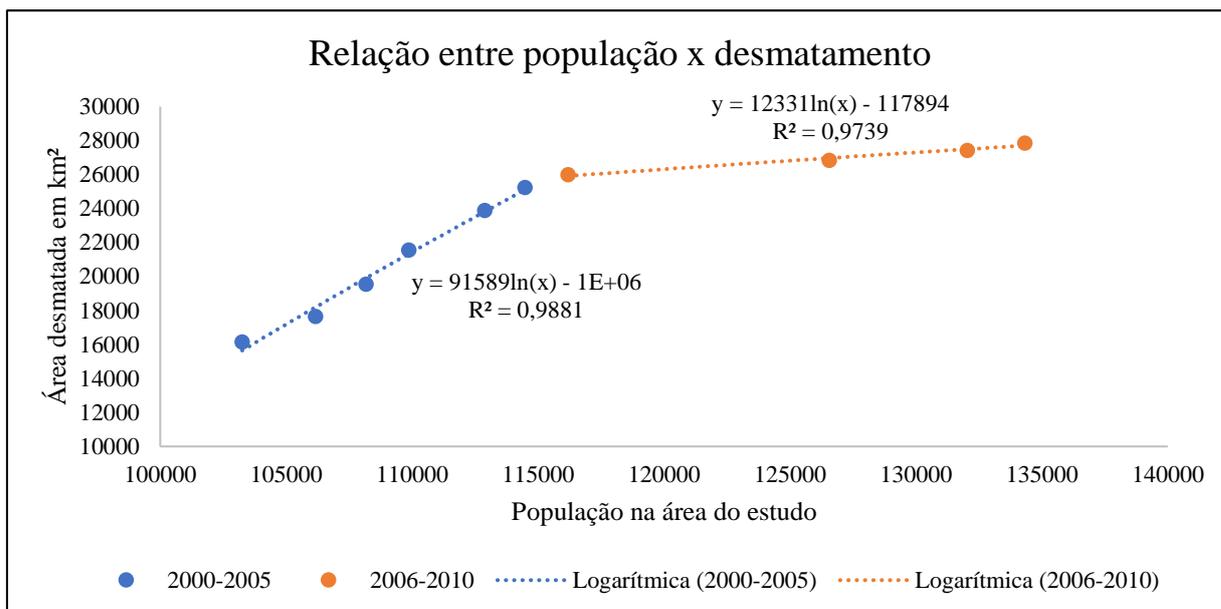


Figura 8 - Relação entre população e desmatamento.

Os resultados da projeção populacional são aplicados na função logarítmica obtida gerando a projeção das áreas desmatadas com e sem a UHE, tais resultados estão apresentados na Tabela 10. Este ponto será a matriz de transição para a simulação dos cenários.

Tabela 10 - Projeção populacional na área de estudo para período 2011 a 2025.

Ano	População sem UHE	Área desmatada sem UHE (km <sup>2</sup> )	População com UHE	Área desmatada com UHE (km <sup>2</sup> )
2011	111360	25398,68	155226	29494,01
2012	112666	25542,45	158260	29732,65
2013	114032	25691,04	161376	29973,08
2014	115459	25844,43	164578	30215,36
2015	116950	26002,61	179753	31302,98
2016	118506	26165,60	189146	31931,01
2017	120129	26333,39	191367	32075,00
2018	121823	26506,01	194801	32294,29
2019	123589	26683,48	198320	32515,04
2020	125430	26865,86	201927	32737,32
2021	127350	27053,18	205627	32961,23
2022	129352	27245,51	209424	33186,86
2023	131440	27442,92	213323	33414,31
2024	133617	27645,47	217328	33643,70
2025	135887	27853,27	221445	33875,10

Na perspectiva de descrever as influências que existem na região, cada variável recebeu uma caracterização de pesos de evidências diante da transição de floresta para desmatamento, estas informações estão explicitadas na Figura 9. É notável que todas as variáveis possuíram classes de refração ao desmatamento assim como de atração ao mesmo.

A relevância da atração de uma variável fica evidente quando os valores de pesos são positivos, assim a proximidade as rodovias e estradas vicinais tem grande reflexo para a transição. Entretanto, a proximidade aos polos madeireiros é mais influente com coeficientes maiores acima de 10, porém esta característica é vista apenas nos primeiros metros da análise. A distância a portos é interessante pela importância deste meio de transporte na região, nota-se que até 50 km destes pontos existe atração ao desmatamento representado por valores próximos a 4.

A respeito das características naturais da região, a distância da rede drenagem demonstra que apenas um trecho próximo influenciará no desmatamento. Enquanto sobre a altitude, percebe-se que apenas um trecho colabora para a transição de solo estudada, sendo locais mais extremos aqueles com maiores coeficientes negativos. Sobre a distância a rios, percebe-se o incentivo positivo ao desmatamento de 0,06 km a 3 km.

Ainda sobre as variáveis, percebe-se que a distância ao empreendimento hidrelétrico mostrou grande refração em região muito próxima, porém a partir de 6 km de distância começa uma tendência positiva a transição e isso tende a inverter após 80km, aproximadamente. As áreas de assentamentos possuem atração ao desmatamento até uma distância de 7,5 km, a partir do qual a influência é negativa.

Em relação a cobertura do solo existem considerações sobre áreas de mineração, pecuária e agrícolas. Sendo as primeiras aquelas com os maiores coeficientes, porém existe uma tendência negativa quanto mais próxima dessas áreas, o que é invertido para as outras características de uso do solo. Mas há de se considerar que na região de influência existem mais áreas relacionadas a pecuária e agricultura do que áreas de mineração.

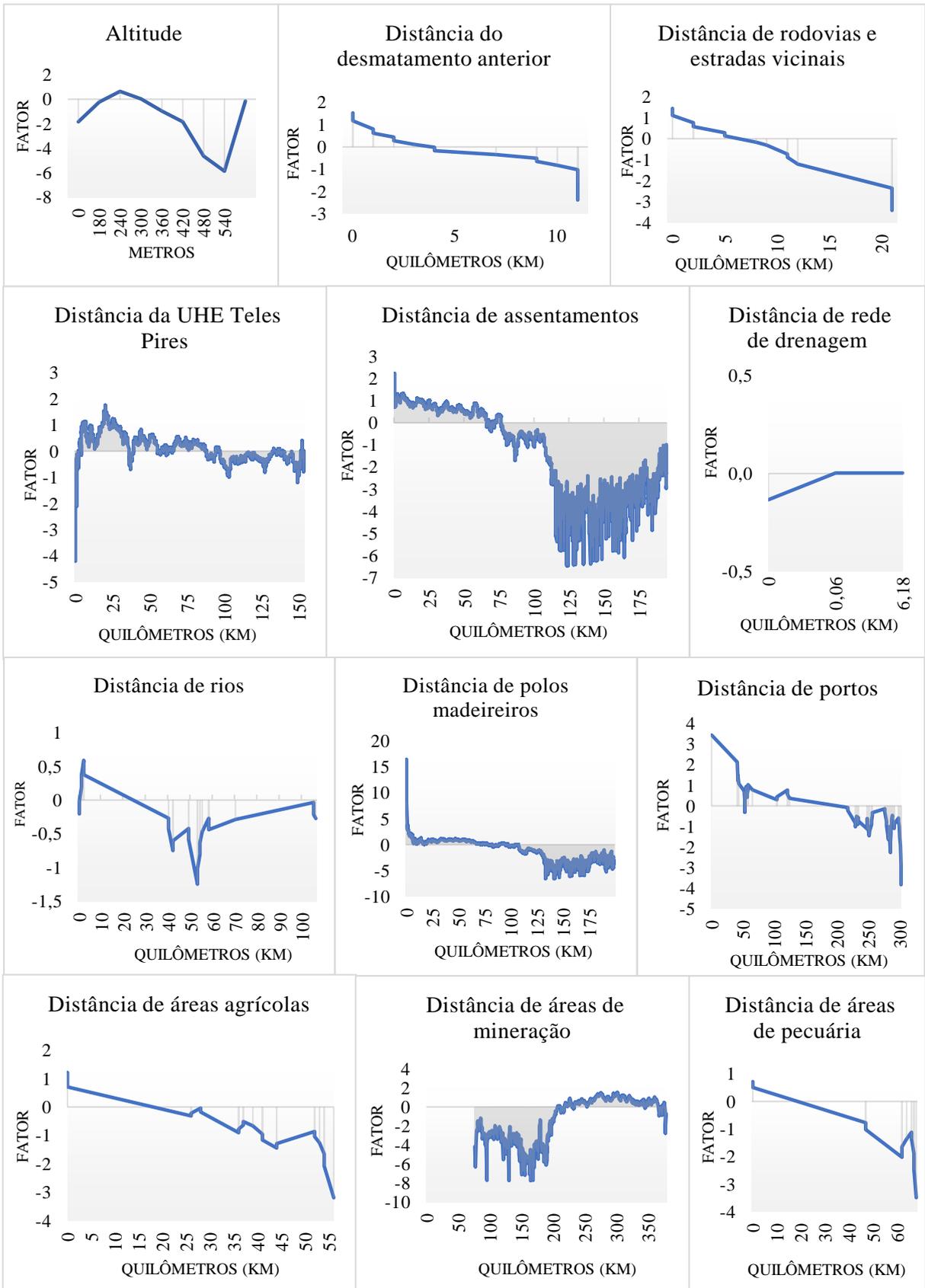


Figura 9 - Distribuição dos pesos nas variáveis contínuas.

As variáveis categóricas demonstram comportamento bem delimitado, apresentado na Figura 10. Assim, para áreas protegidas temos que as terras indígenas (classe 4) são aquelas que possuem atração sobre o desmatamento, os motivos para tal não estão no escopo deste estudo, assim como o argissolo vermelho-amarelo (classe 2) para as categorias de solo da região. Em relação aos tipos vegetacionais, em sua maioria refratam o desmatamento sendo aqueles mais influentes: savana gram-lenhosa (classe 14), floresta ombrófila aberta – latifoliada (classe 6) e mista (classe 7).

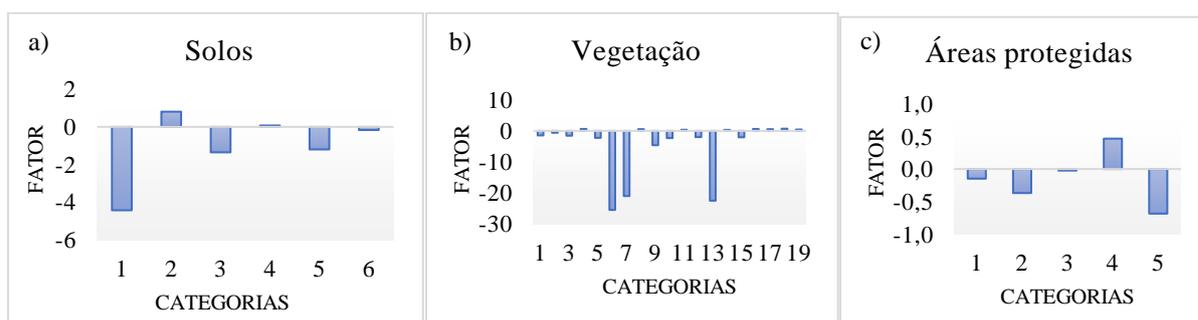


Figura 10 - Distribuição dos pesos de evidência por variável categórica. **a)** Categorias: 1- Massa d'água, 2 - Argissolo vermelho-amarelo, 3 - Latossolo vermelho-amarelo, 4 - Neossolo litólico, 5 - Neossolo quartzarênico e 6 - Afloramento de rochas. **b)** Categorias: 1 - Água, 2 - Savana / estacional – savana, 3 - Savana / estacional – decidual, 4 - Floresta ombrófila aberta – submontana, 5 - Floresta ombrófila densa - aluvial, terraço, 6 - Floresta ombrófila aberta - latifoliada, dissecado; 7 - Floresta ombrófila aberta - mista/dissecado, 8 - Savana – parque, 9 - Ombrófila/estacional – decidual, 10 - Savana - arbórea aberta, 11- Floresta ombrófila densa – submontana, 12 - Floresta ombrófila densa – aluvial, 13 - Savana - gram-lenhosa, 14 - Savana / ombrófila - floresta ombrófila aberta, 15 - Savana /ombrófila – savana, 16 - Savana/ombrófila - floresta ombrófila densa, 17 - Savana/estacional – semidecidual, 18 - Ombrófila/estacional – semidecidual e 19 - Ombrófila/estacional - ombrófila aberta. **c)** Categorias: 1- RPPN, 2 – Parque nacional, 3 – Parque estadual, 4 – Terras indígenas e 5 – Área militar.

A correlação entre variáveis é importante para eficiência do modelo, devido ao seu caráter redução de informações duplicadas no estudo. Esta análise foi gerou a matriz apresentada na Tabela 11, onde todos os elementos avaliados pelo critério de Crammer demonstram semelhança de informações em até 40%, o que demonstra que todas as variáveis possuem baixa correlação entre si e apresentam informações independentes.

Tabela 11 - Correlação obtida entre as variáveis utilizadas pelo critério de Crammer.

	Áreas protegidas	Distância de rede de drenagem	Distância da UHE Teles Pires	Distância de áreas agrícolas	Distância de assentamentos	Distância de áreas de mineração	Distância de áreas de pecuária	Distância de polos	Distância de portos	Distância de rios	Distância de rodovias e vicinais	Distância de desmatamento anterior	Solos	Vegetação
Altitude	0,3024	0,0307	0,2080	0,2397	0,3063	0,3712	0,2621	0,3303	0,3030	0,2754	0,2113	0,2061	0,3439	0,2944
Áreas protegidas		0,0076	0,1711	0,1992	0,6857	0,5352	0,2420	0,4894	0,3982	0,3356	0,1236	0,1212	0,3739	0,4473
Distância de rede de drenagem			0,0210	0,0087	0,0251	0,0255	0,0059	0,0243	0,0063	0,0091	0,0058	0,0098	0,0062	0,0159
Distância da UHE Teles Pires				0,0978	0,0000	0,2709	0,1025	0,0000	0,1034	0,1461	0,1351	0,0991	0,2093	0,1564
Distância de áreas agrícolas					0,2778	0,2563	0,2632	0,2376	0,1298	0,1028	0,2782	0,2504	0,3378	0,1980
Distância de assentamentos						0,3324	0,2579	0,0000	0,0777	0,1303	0,2711	0,2406	0,3761	0,2675
Distância de áreas de mineração							0,3064	0,2863	0,1486	0,1506	0,2790	0,2387	0,4996	0,3304
Distância de áreas de pecuária								0,2493	0,2283	0,2136	0,2224	0,2267	0,3327	0,2386
Distância de polos									0,1008	0,1886	0,2517	0,2094	0,3354	0,2571
Distância de portos										0,2467	0,1855	0,1362	0,3404	0,2224
Distância de rios											0,0988	0,0957	0,2985	0,1781
Distância de rodovias e vicinais												0,3190	0,3253	0,2055
Distância de desmatamento anterior													0,3109	0,1750
Solos														0,4575

Neste momento, encerra-se a etapa de calibração tal que o modelo responda o máximo possível a transição observada. A medida de semelhança do mapa final de calibração simulado com a imagem observada pelo PRODES constitui o processo de validação. Este resultado está expresso na Figura 11, de acordo o tamanho da janela espacial em análise (1, 3, 5, 7, 9 e 11 células). Neste caso, a adequação de similaridade mínima aceitável foi acima de 40% em uma resolução espacial de ~ 224,42 metros (em 81 células), correspondendo ao ponto vermelho na Figura 11. Ou seja, na janela de 9x9 há 40% de parecença na simulação.

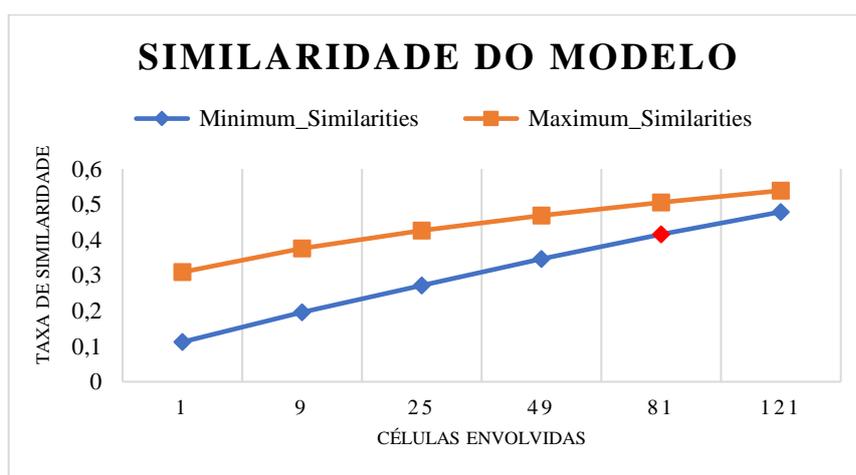


Figura 11 - Similaridade encontrada para validação do modelo proposto.

Tal que o modelo proposto está validado então é possível utilizá-lo como ferramenta preditora da mudança de uso do solo de acordo os cenários apresentados. Assim, utilizar os dados da Tabela 10 como matriz de transição e o modelo irá espacializar as projeções de áreas desmatadas para cada cenário, desta forma será informado o quanto será desmatado a cada passo anual da simulação. As matrizes utilizadas estão apresentadas na Tabela 12.

A importância da integração dos funtores de mancha utilizados é demonstrada pela concentração das manchas de desmatamento, uma vez que a utilização de apenas um deles poderia diminuir a representatividade do modelo para a realidade. Desta forma, a configuração do modelo foi estabelecida para que 60% da área simulada na matriz fosse distribuída de acordo o funtor “*patcher*” enquanto o restante fosse alocado por ampliação dessas manchas com o “*patcher expander*”. Essa configuração permitiu uma análise mais próxima da realidade considerando a relevância encontrada para a variável “distância ao desmatamento anterior”.

As simulações obtidas com o modelo serviram de base para análise do impacto do empreendimento. Na intenção de demonstrar os principais marcos espaciais deste trabalho, apresenta-se as figuras Figura 12 e Figura 13 sobre as projeções para os anos 2015 e 2025. No primeiro caso, corresponde ao ano de encerramento da construção do empreendimento e início

do total funcionamento da usina. Pelos dados já obtidos até aqui estão inclusas as maiores taxas de mudança devido ao grande fluxo de imigração de trabalhadores para esse sistema. A tendência de maior desmatamento na região inferior dos mapas decorre principalmente pela concentração das áreas protegidas na parte superior.

Tabela 12 - Dados para matriz de transição de simulação do modelo.

Ano	Cenário sem UHE	Taxa_em_HA	Cenário com UHE	Taxa_em_HA
<b>2012</b>	2554244,76	14376,67	2973265,00	23864,37
<b>2013</b>	2569103,63	14858,87	2997307,87	24042,87
<b>2014</b>	2584442,82	15339,20	3021536,27	24228,40
<b>2015</b>	2600261,49	15818,66	3130297,86	108761,59
<b>2016</b>	2616559,75	16298,26	3193100,72	62802,86
<b>2017</b>	2633338,74	16778,98	3207499,58	14398,86
<b>2018</b>	2650600,54	17261,80	3229429,26	21929,69
<b>2019</b>	2668348,21	17747,68	3251503,64	22074,38
<b>2020</b>	2686585,77	18237,56	3273731,67	22228,02
<b>2021</b>	2705318,16	18732,39	3296122,57	22390,91
<b>2022</b>	2724551,24	19233,08	3318685,90	22563,33
<b>2023</b>	2744291,77	19740,53	3341431,49	22745,59
<b>2024</b>	2764547,39	20255,62	3364369,51	22938,02
<b>2025</b>	2785326,60	20779,21	3387510,46	23140,95

Neste contexto estão inclusas as instalações físicas relacionadas ao empreendimento e incorporação das áreas de proteção e unidades de conservação criadas até 2014, estas informações são as principais influências diretas na área de influência. As construções e melhorias de estradas estão integradas ao modelo a partir do primeiro passo do modelo, devido que estas são as primeiras atividades no cronograma de instalação do empreendimento.

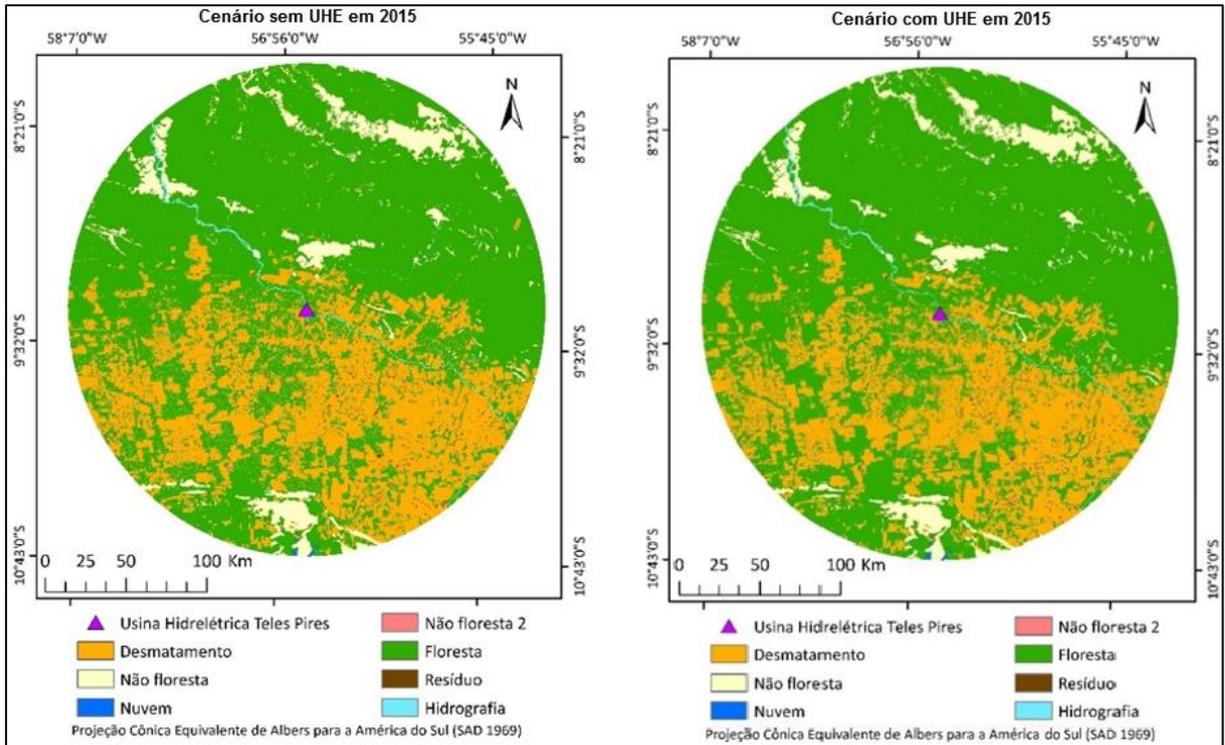


Figura 12 - Projeções de acordo cenário com e sem UHE para o ano 2015.

O ano 2025 foi demonstrativo para 10 anos após a implantação da usina. Este dado é considerado também devido ao período da emissão de CERs dentro do PDD submetido ao MDL. Assim, as projeções para este ano estão demonstradas na Figura 13. Esta imagem apresenta características similares as apresentadas anteriormente, considerando os padrões de distribuição do desmatamento.

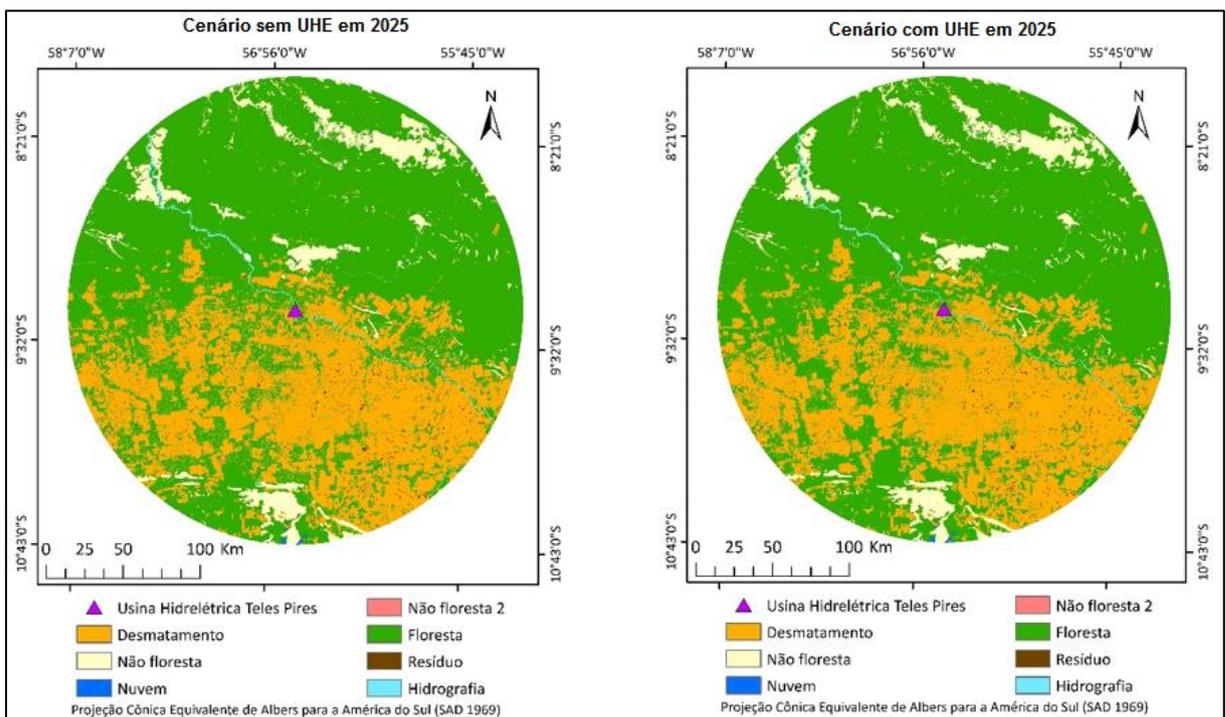


Figura 13 - Projeções de acordo cenário com e sem UHE para o ano 2025.

A disposição das áreas desmatadas permitiu ainda analisar o comportamento análogo nas faixas de distância da UHE, apresentado na Figura 14. Nesta, temos a localização dos incrementos anuais ao desmatamento, observando que o cenário sem UHE compõe curvas similares a cada ano da simulação, o que não pode ser dito a respeito do cenário com UHE, principalmente, para os anos 2015 e 2016 quando há grande variação das características dos outros anos.

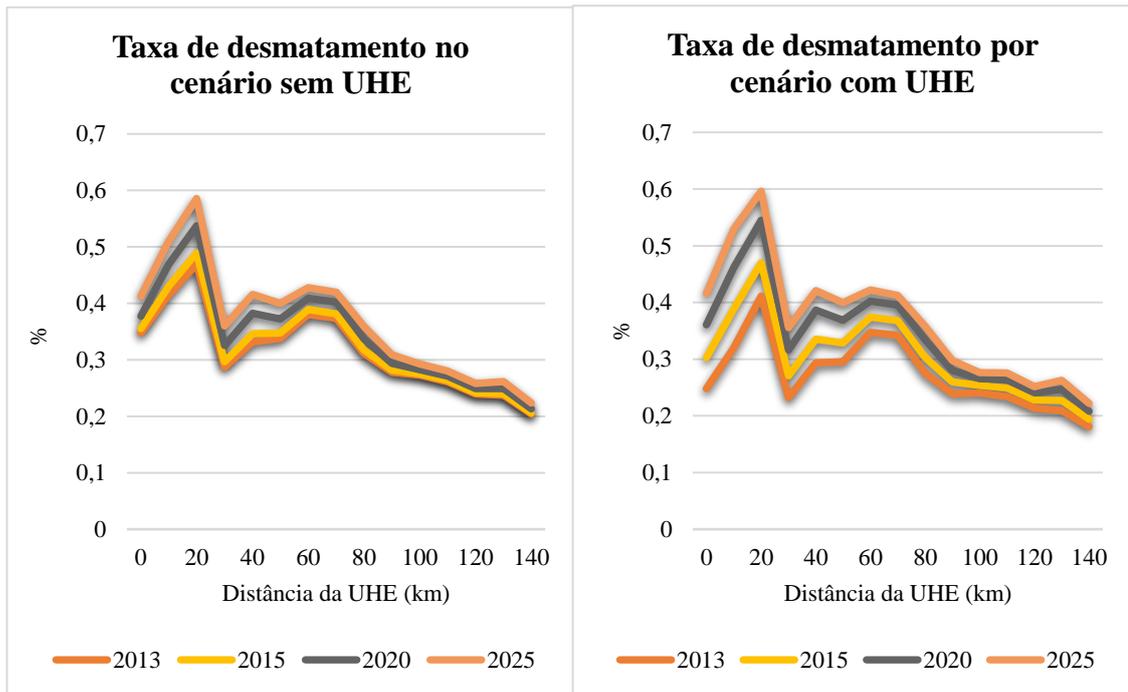


Figura 14 - Taxa de área desmatada por distância da UHE.

As taxas de desmatamento encontradas são semelhantes entre os cenários. Porém, na representação com a UHE existe acréscimo em áreas desmatadas até a faixa de 80 km. Em ambos os casos, a maior concentração do desmatamento ocorre até 30 a 40 km do empreendimento.

A espacialização exposta neste trabalho permitiu ainda a análise sobre o impacto atmosférico gerado a partir da influência da hidrelétrica. A consideração de impacto pela hidrelétrica ocorre pela subtração da condição com o empreendimento pelos acontecimentos da condição sem UHE.

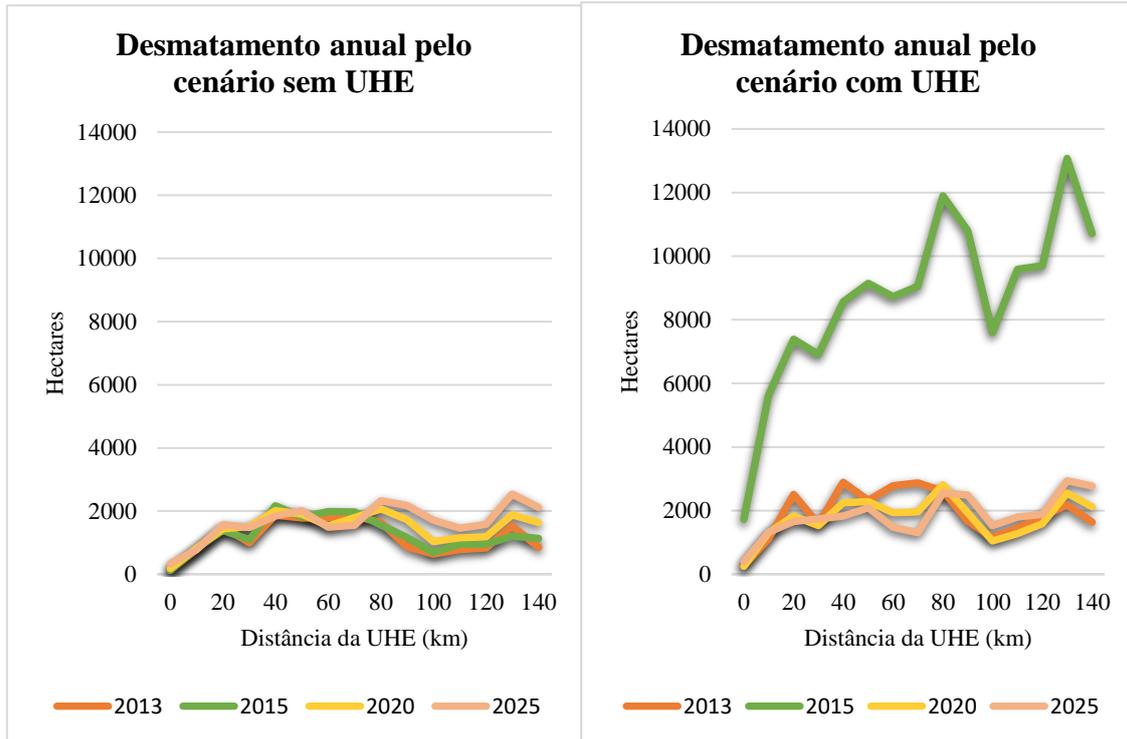


Figura 15 - Distribuição espacial do desmatamento anual simulado.

As simulações obtidas com modelo CARLUCC demonstraram a quantidade de biomassa existente como floresta na região, conforme condições propostas pelo IPCC. De acordo a espacialização das áreas desmatadas e considerando a emissão de GEE pela retirada da biomassa do solo, foi contabilizado o impacto atmosférico pela interferência da UHE pelo foco deste estudo. Isto é, os valores apresentados na Figura 16, correspondem a relação entre os produtos do modelo LUCC e CARLUCC. Estes números demonstram que existe uma diferença entre os cenários com UHE e sem UHE de 61,44 Ttoneladas de CO<sub>2</sub>e.

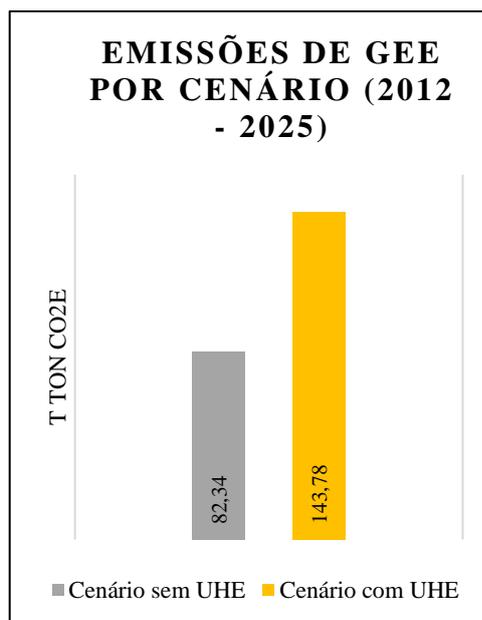


Figura 16 - Emissões de GEE por cenário simulado.

A partir do quadro apresentado, percebe-se o elevado impacto obtido através do desmatamento e porque isso tem sido foco das políticas públicas nacionais sobre as fontes de emissão de GEE nacionais. Considerando o panorama temporal de distribuição destas emissões, como apresentado na Figura 17, demonstra-se a característica tendencial obtida na condição sem implantação da usina, isto é, a aparência contínua deste cenário. Da mesma forma, o pico de emissão no cenário que considera a UHE. É considerável que a emissão entre os cenários se estabilize ao impacto usual da região posteriormente.

As diferenças obtidas entre os cenários são representativas do efeito da usina hidrelétrica. Na Figura 17, é perceptível o período em que isto acontece, a existência deste impacto até o ano de 2022 assim como a concentração nos primeiros anos até 2017.

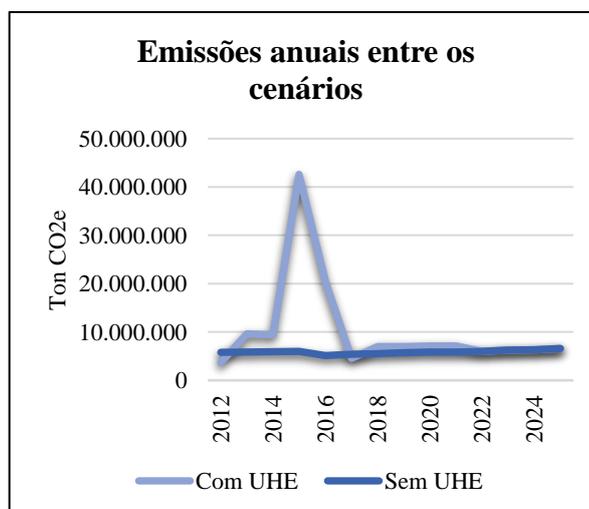


Figura 17 - Emissões anuais de acordo cenário abordado.

Compreendendo que a principal influência para implantação de hidrelétricas, como fonte de energia limpa, parte da premissa da adicionalidade destes empreendimentos no MDL. Uma evidência disto temos o PDD da UHE Teles Pires. Neste sentido, o cenário proposto neste estudo foi comparado aos cálculos apresentados no documento, tal como apresentado na Tabela 13.

Devido ao escopo deste empreendimento, pela ACM0002, as emissões de base correspondem a implantação de termelétrica de mesma capacidade instalada. Assim, percebe-se uma contraposição obtida com o cenário elaborado neste trabalho, pois assim não haveria emissão de CERs devido que a UHE emitiria mais GEE do que a linha de base.

Tabela 13 - Cálculo de Créditos de redução de emissões para o cenário proposto, considerando o período de créditos do PDD (10 anos).

<b>Ano</b>	<b>Emissões de linha de base</b> tCO <sub>2</sub> e	<b>Emissões do projeto</b> tCO <sub>2</sub> e	<b>Redução de emissões</b> tCO <sub>2</sub> e
2015	2.497.446	36.631.706	-34.134.261
2016	2.504.288	15.339.925	-12.835.637
2017	2.497.446	-835.469	3.332.915
2018	2.497.446	1.463.267	1.034.179
2019	2.497.446	1.265.539	1.231.907
2020	2.504.288	1.212.682	1.291.606
2021	2.497.446	1.229.165	1.268.281
2022	2.497.446	0	2.497.446
2023	2.497.446	0	2.497.446
2024	2.504.288	0	2.504.288
<b>Total</b>	<b>24.994.984</b>	<b>56.306.815</b>	<b>-31.311.831</b>
<b>Número total de anos de crédito</b>	10		
<b>Média anual no período de crédito</b>	2.499.498	5.630.681	-3.131.183

Considerando as possibilidades de submissão de projetos dentro do MDL, realizou-se cálculos relativos a diferentes períodos de crédito, dado que existe a alternativa de 7 anos com possibilidade de renovação do projeto ou período fixo de 10 anos. Esta consideração se aplica devido a concentração de impacto no período de construção da mesma e os resultados estão apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 - Cálculo de Créditos de redução de emissões, considerando o período de créditos renovável do PDD (7 anos).

Ano	Emissões de linha de base tCO <sub>2</sub> e	Emissões do projeto tCO <sub>2</sub> e	Redução de emissões tCO <sub>2</sub> e
2012	2.497.446	-2.133.007	4.630.453
2013	2.504.288	3.769.815	-1.265.527
2014	2.497.446	3.498.768	-1.001.323
2015	2.497.446	36.631.706	-34.134.261
2016	2.497.446	15.339.925	-12.842.479
2017	2.504.288	-835.469	3.339.757
2018	2.497.446	1.463.267	1.034.179
<b>Total</b>	<b>17.495.804</b>	<b>57.735.005</b>	<b>-40.239.201</b>
<b>Número total de anos de crédito</b>	7		
<b>Média anual no período de crédito</b>	2.499.401	8.247.858	-5.748.457

Com o propósito de demonstrar os dados obtidos quanto a emissão de CERs pelo projeto analisado, temos a Figura 18, que apresenta o balanço obtido quando comparamos os cenários e a linha de base assumida no PDD da UHE Teles Pires. Desta forma, está visível as reduções em emissões que podem ser alcançadas ou não.

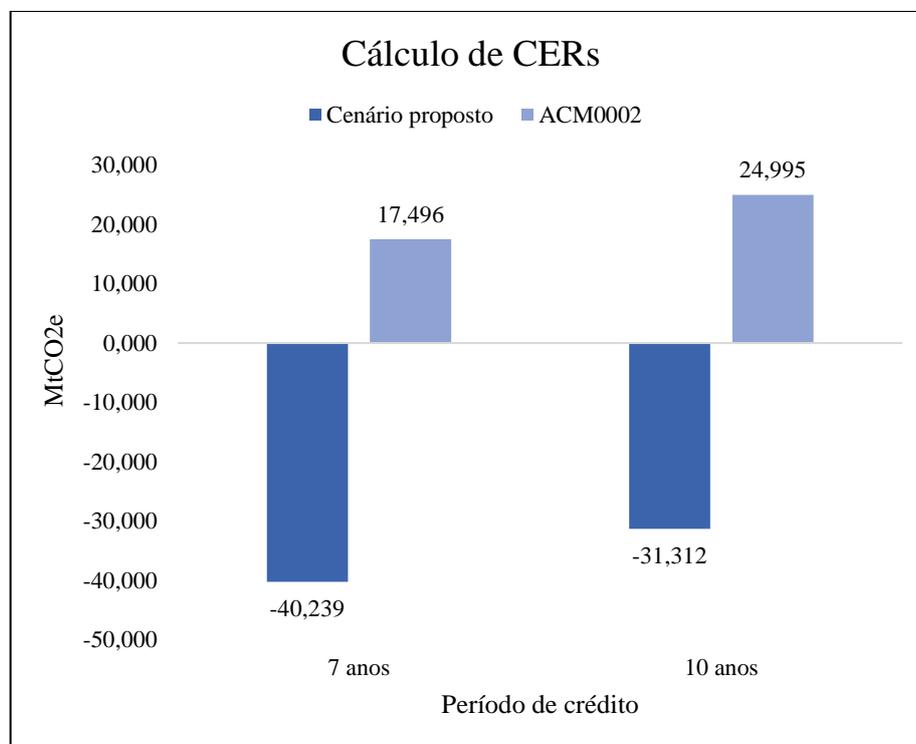


Figura 18 - Totais de créditos emitidos considerando variados metodologias e períodos de créditos.

## 5. DISCUSSÃO

Este estudo compreendeu o desenvolvimento de um modelo representativo da dinâmica do desmatamento atraído pela implantação da hidrelétrica de Teles Pires. Acompanhando este processo ocorre a contabilização das emissões de GEE pela mudança da cobertura do solo e compreensão da localização dessa transição. O impacto atmosférico foi analisado na perspectiva da ACM0002 dentro do sistema do MDL.

A primeira observação consiste nos diferentes municípios inclusos para AII do EIA apresentado e neste estudo. Percebe-se que os 10 municípios localizados na área de influência receberam mudanças na cobertura do solo de acordo as probabilidades geradas pelas variáveis. Ainda que Alta Floresta possua o maior nível de urbanização, é em Jacareacanga que ocorrem as maiores áreas desmatadas deste estudo. Estas variações não estão refletidas no EIA, assim como para os outros municípios, demonstrando que a localização dos impactos gerados está além do que está documentado no processo de licenciamento.

Ainda sobre a alocação do desmatamento obteve-se que as áreas com maior probabilidade a mudança são em torno de estradas e dos locais já desmatados. Isso acontece pela convergência de pesos positivos nestas regiões, no processo de calibração. Isto corrobora ao estudo de Barreto *et al.* (2011), onde o aumento do desmatamento também ocorreu nestas regiões.

Há que se notar que as políticas públicas de proteção ambiental possuem influência nesta situação pois as áreas com menor probabilidade ao desmatamento correspondem as áreas protegidas, como se é esperado. Ainda houve criação de novas áreas no período desta análise, o que ocupou 47% da área de influência. Desta forma, houve menor área passível de mudança no raio considerado, o que pode ter amenizado o impacto da UHE. Isto também, permite considerar que nesta paisagem seria interessante que a área de influência se estenda além dos 150 km da construção da barragem para considerar o desmatamento em áreas menos restritivas.

Analisou-se também a distribuição da transição por discos em torno da UHE, onde não houve desmatamento completo de nenhuma região. Mas observou-se que as faixas mais atingidas foram de 10-20km e 20-30km da UHE para os cenários sem e com UHE, respectivamente. Demonstrando que há uma inibição a transição por efeito da exigência do PACUERA, que determina as áreas de proteção e de responsabilidade do empreendedor em faixa de 10 km do reservatório (LEME-CONCREMAT, 2010). Isto demonstra que as políticas de fiscalização ambiental para o empreendimento possuem impacto relevante.

Considerando então as análises populacionais, nota-se que a atração populacional no período de construção do empreendimento promoveu na região as principais diferenças entre

os cenários estudados. Tal reação demonstra a relevância deste período nos estudos de impacto ambiental, visto que considerar essas informações nos permite também mitigar problemas relacionados. Além disso, outras informações podem ser incorporadas, como a especulação imobiliária nas variáveis envolvidas na calibração.

Porém, percebe-se que o processo de construção do empreendimento não está incluso no período de créditos do PDD, o que aponta para um grande impacto regional sobre isso. O período de 2012 a 2015 é responsável por maiores tendências ao desmatamento e assim maiores emissões independente do cenário considerado. Este período é responsável pela emissão de 5,136 MtCO<sub>2</sub>e. Os cálculos obtidos, apresentado na Tabela 13, demonstram outras quantificações de CERs a respeito da hidrelétrica onde não haveria adicionalidade ao empreendimento, embora houvessem anos sem emissão pelo projeto.

Outra consideração importante sobre o período de construção do empreendimento, está no entendimento de impacto ambiental de um evento. De acordo a resolução nº 001 (CONAMA, 1986): considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas. Sendo assim, o projeto deveria absorver todas as interações que o empreendimento faz e isso contabiliza o período em questão. Da mesma forma, para considerações sobre o impacto atmosférico proporcionado por uma usina, seria necessário contabilizar as emissões até o funcionamento daquela atividade.

As áreas desmatadas projetadas quando contabilizadas pela extração da biomassa leva a dados interessantes sobre a emissão de GEE. A importância deste ponto refere-se a submissão do PDD da UHE Teles Pires dentro do MDL. No atual projeto, não há inclusão do impacto gerado pela construção da usina e ainda a escolha do período de 10 anos para disponibilidade dos créditos. Porém outra opção seria a aplicação de períodos de créditos de 7 anos com possível renovação. Nestas considerações, a emissão do primeiro período seria de 57,74 em milhões de tCO<sub>2</sub>e e os períodos seguintes seriam relativos ao período de estabilização das emissões. Dentro desta perspectiva, todo o impacto da hidrelétrica seria contabilizado.

É importante considerar ainda, que os cálculos foram elaborados sobre o impacto direto na mudança de cobertura do solo. Ainda existem outros impactos, já relatados, como as emissões geradas pelo reservatório no rio. Fearnside (2015a) apresentou cálculos relativos ao PDD da UHE Santo Antonio, onde houve emissão de GEE pelo reservatório suficiente para questionar o financiamento via MDL. Retornando ao princípio de impacto total do empreendimento, a soma das emissões de GEE por fontes em uma usina hidrelétrica vão além

do que solicitado na metodologia ACM0002. Convergindo essas ideias, temos que uma usina hidrelétrica possui emissão de GEE pelas vias de desgaseificação, difusão, ebulição no reservatório somado a retirada do carbono armazenado na biomassa vegetal da floresta.

De acordo as emissões geradas pelos reservatórios existe um quantitativo de metano produzido nos primeiros anos do reservatório o qual é estabilizado posteriormente (FEARNSIDE, 2014a; ROSA et al., 2004). Kahn *et al.* (2014) apresentam a importância de entender que os impactos em todo o sistema de um conjunto de barragens serão maiores do que a soma dos impactos locais das barragens individuais. Porém, incluindo os dados apresentados aqui, relativos ao impacto no período inicial da hidrelétrica e, entendendo sobre o potencial de aquecimento do CH<sub>4</sub> podemos notar qualitativamente que o custo benefício da hidrelétrica deve ser analisado com cautela.

A longo prazo estes empreendimentos se propõem a estabilizar em emissões de GEE porém, diante das atuais ações de mitigação dessas, é relevante contabilizar a curto prazo. Kahn *et al.* (2014) discutem que a razão custo benefício de hidrelétricas deve ser considerado de forma atenta pois os custos ambientais são irreversíveis física ou economicamente, concluindo então que os custos por quilowatt-hora de tecnologias alternativas cairão com o tempo, corroendo a economia de custos associada à energia hidrelétrica.

Considerando os elementos apresentados por Faria et al. (2015), Fearnside, (2015) e Giles (2006), a respeito da emissão de GEE em reservatórios possuem efeito relevante em regiões tropicais, deve-se considerar a importância da floresta amazônica em assimilação de carbono. Sendo o desmatamento neste bioma um dos grandes focos de emissão de GEE pelo Brasil, a junção destas fontes de emissão não compreende práticas de desenvolvimento sustentável como constitui a proposta do MDL. Kahn *et al.* (2014) apresentam consequências deste tipo de pensamento, uma vez que as novas emissões associadas aos reservatórios poderiam desqualificar o Brasil de participar de um sistema como o programa proposto, reduzindo as emissões do desmatamento e da degradação florestal REDD +, porque os reservatórios das hidrelétricas são novas fontes de desmatamento.

Compreendendo a dinâmica do MDL, o questionamento abordado neste trabalho, demonstrou que em ambos os cenários há redução das CERs emitidas, tal que não exista a adicionalidade desta usina. Isso é constatado pois há mais emissão de GEE do que a linha de base considerada, como pode ser observado no Figura 18. Neste caso, seriam necessários a compra de 36,446 MtCO<sub>2e</sub> para a neutralização da UHE Teles Pires.

Existe ainda um ponto metodológico que deve ser discutido aqui, considerando a evolução da metodologia ACM0002. O principal critério a respeito da descrição dos cálculos para emissões de GEE se baseia na densidade de potência da hidrelétrica, uma vez que as emissões do reservatório foram incorporadas na plataforma. Porém, este parâmetro reduz as características do empreendimento e demonstram a forma simplista como as usinas hidrelétricas são tratadas. Kahn *et al.* (2014) afirma que existe um grande perigo em erros de cálculo na análise de hidrelétricas. A ACM0002 apresentou variações em suas premissas sobre esse tipo de empreendimento e os resultados obtidos com o modelo utilizado neste trabalho complementa que ainda existe perspectivas a serem assimiladas nesses cálculos.

A definição de um modelo sistemático é um avanço científico que agrega a comunidade científica e aos tomadores de decisão, uma percepção da realidade que favoreça analisar condições futuras. O modelo desenvolvido neste trabalho, embora focado em uma fonte de emissão, é suporte para conduzir análise de custo benefício e simular condições focadas no melhor desenvolvimento de políticas de emissão de GEE.

Diante do exposto, existem perspectivas de cunho científico que devem ser incorporadas ao processo de análise ambiental, uma vez que existe grande esforço para mitigar as mudanças climáticas. O processo de modelagem é contínuo e complementar, sendo este um primeiro passo sistemático para abordar a transformação promovida por empreendimentos hidrelétricos na Amazônia brasileira. As ferramentas de modelagem estão convergindo cada vez mais as análises ambientais e assim realizar estudos comparativos das metodologias permitem um refinamento importante ao processo de tomada de decisão, assim como neste trabalho se observou a necessidade de maior área de influência e a fim de comparar a influência da paisagem de áreas protegidas.

A principal discordância encontrada está no incentivo a criação de hidrelétricas como alternativas de produção de energia elétrica no país. De acordo os resultados obtidos, o impacto em emissões de GEE não são considerados em EIAs e também não foram contabilizados para submissão do projeto ao MDL, principal mecanismo de investimento em projetos baseado em emissões de GEE. Isto demonstra que é preciso maior investigação sobre estas usinas uma vez que são dependentes da geografia local e atualmente seu potencial está concentrado na região Norte do país para convergir com esforços para redução das taxas de desmatamento nacionais.

Considerando a extensão e diversidade do território nacional, é importante considerar que outras fontes de energia são viáveis. O Brasil foi identificado como uma área com alta energia eólica e alto potencial de energia solar, com investimentos acelerados nessas fontes de energia

(KAHN *et al.*, 2014). A inovação tecnológica em alternativas que já estamos observando diminuirá os benefícios de longo prazo dos projetos hidrelétricos propostos na Amazônia. A energia hidrelétrica, a energia eólica e a energia solar devem ser contempladas de forma integrada, com uma visão holística, dentro da futura combinação elétrica (BERGA, 2016). Com isso, é demonstrado que investimentos na diversificação dessas fontes alternativas de energia de forma conjunta podem garantir a segurança energética e também ambiental, o que aproxima o país de práticas sustentáveis.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo sobre influência de hidrelétricas na mudança de uso do solo é importante ao elaborar uma metodologia passível de replicação a outras áreas para análise da relação entre população e desmatamento. A realização do mesmo só foi possível a partir de integração entre políticas públicas e estudos populacionais, uma vez que a implementação de apenas um destes não retornaria paisagens representativas o suficiente.

Temos ainda que a aplicação de modelagem como ferramenta de predição a eventos ambientais é consistente por resultados plausíveis a realidade como também utensílio viável quando analisadas grandes áreas, tornando-se relevante para discussões ambientais uma vez que sua prática é facilitada por não haver etapas com alto custo financeiro.

As análises populacionais obtiveram resultados consistentes e assim foi possível obter as áreas desmatadas de acordo os cenários estudados, entretanto este evento foi considerado isolado em relação a outros grandes empreendimentos na região. As áreas encontradas demonstraram impacto por atração populacional pela hidrelétrica de 6021,84 km<sup>2</sup>. Assim, é conclusivo que exista um impacto por desmatamento pela hidrelétrica independente do quadro de políticas públicas instaladas, ainda que como visto na distribuição destas áreas a intensificação destas são essenciais para efetividade de áreas de preservação.

Os estudos, ainda que simplificados, sobre emissão de GEE demonstram que existem muitas considerações a respeito de qualificar as hidrelétricas como fonte de energia limpa, como a atração do desmatamento e a emissão de GEE além do que pode ser considerado para uma termelétrica. A relação entre avaliação do impacto do empreendimento como um todo, sugere-se a inclusão de todas as etapas desde a construção da usina hidrelétrica para quantificar os impactos gerados. Sendo aqui demonstrados pela variação de período de crédito de carbono.

Dentro das perspectivas nacionais de redução de emissões de GEE, onde suas principais fontes são energia e mudança de uso do solo, é relevante considerar a interação entre estes setores como apresentado aqui. Uma vez que a localização destes empreendimentos também infere sobre impacto negativo, tais informações devem ser consideradas no processo de tomada de decisão.

As contribuições deste estudo buscam convergir a compreensão do impacto realizado por UHE, dado que desta forma é possível mitigar seus efeitos e colaborar ao processo de tomada de decisão com refinamento das opções.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agência Nacional de Águas - ANA (2010). **Hidrografia 1:1.000.000 (base digital georreferenciada)**. Brasília: ANA. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb.asp?TocItem=4100>>. Acesso em: 25 maio. 2017.
- Agência Nacional de Águas - ANA (2010). **Hidrografia 1:1.000.000 (base digital georreferenciada)**. Adaptado por Centro de Sensoriamento Remoto - CSR/UFMG. Brasília: ANA. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb.asp?TocItem=4100>>. Acesso em: 25 maio. 2017
- ALENCAR, A. **Cenários de Perda da Cobertura Florestal na Área de Influência do Complexo Hidroelétrico do Tapajós**. Santarém, PA: IPAM, 2016. Disponível em: <[http://ipam.org.br/wp-content/uploads/2016/02/Audiencia-Publica-Santarem\\_IPAM\\_Jan2016\\_final.pdf](http://ipam.org.br/wp-content/uploads/2016/02/Audiencia-Publica-Santarem_IPAM_Jan2016_final.pdf)>. Acesso em: 25 maio. 2017
- ALMEIDA, C. M. et al. Using neural networks and cellular automata for modelling intra-urban land-use dynamics. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 22, n. 9, p. 943–963, set. 2008.
- ALVES, A. Hidrelétrica Teles Pires enche reservatório sem terminar a supressão vegetal ; veja fotos. **Olho Direto**, p. 2, 18 jan. 2015.
- ANEEL. Energia Hidráulica. In: **Atlas de energia elétrica do Brasil**. [s.l.] ANEEL, 2008. p. 49–61.
- BARRETO, P. et al. **RISCO DE DESMATAMENTO ASSOCIADO À HIDRELÉTRICA DE BELO MONTE**. 1. ed. Belém, PA: Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia-IMAZON, 2011.
- BERGA, L. The Role of Hydropower in Climate Change Mitigation and Adaptation: A Review. **Engineering**, v. 2, n. 3, p. 313–318, 2016.
- BONHAM-CARTER, G. 1994. **Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS**. New York, Pergamon, 398 p.
- CDM DATABASE. **CDM: Project Activities**. Disponível em: <<https://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html>>. Acesso em: 18 fev. 2018.
- CDM EXECUTIVE BOARD. **CDM: About CDM**. Disponível em: <<https://cdm.unfccc.int/about/index.html>>. Acesso em: 18 fev. 2018.
- CDM EXECUTIVE BOARD. **Revision to the approved consolidated baseline methodology ACM0002/ Version 04UNFCCC/CCNUCC CDM - Executive Board**. [s.l: s.n.]. Disponível em:

<[https://cdm.unfccc.int/filestorage/C/D/M/CDMWF\\_AM\\_YRBRBUU2ON10D2S9SE0RFK0V1R2TNL/eb22\\_repan6\\_ACM002version4.pdf?t=c018bzZlODJmfDDFOYY3RVYJ4OEpeFsO1hcT](https://cdm.unfccc.int/filestorage/C/D/M/CDMWF_AM_YRBRBUU2ON10D2S9SE0RFK0V1R2TNL/eb22_repan6_ACM002version4.pdf?t=c018bzZlODJmfDDFOYY3RVYJ4OEpeFsO1hcT)>. Acesso em: 18 fev. 2018.

CDM EXECUTIVE BOARD. **Revision to the approved consolidated baseline methodology ACM0002/Version 06.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <[https://cdm.unfccc.int/UserManagement/FileStorage/CDMWF\\_AM\\_BW759ID58ST5YEEV6WUCN5744MN763](https://cdm.unfccc.int/UserManagement/FileStorage/CDMWF_AM_BW759ID58ST5YEEV6WUCN5744MN763)>. Acesso em: 18 fev. 2018.

CDM EXECUTIVE BOARD. **Approved consolidated baseline and monitoring methodology ACM0002 / Version 12.3.0.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <[https://cdm.unfccc.int/filestorage/4/W/1/4W1SCKX3EMPO6AYGRJUTD7BQ8IVN0H/Consolidated baseline methodology for grid-connected electricity generation from renewable sources.pdf?t=RFp8bzZlYzNufDBJlqpe\\_h7s7zhmlG-50a97](https://cdm.unfccc.int/filestorage/4/W/1/4W1SCKX3EMPO6AYGRJUTD7BQ8IVN0H/Consolidated%20baseline%20methodology%20for%20grid-connected%20electricity%20generation%20from%20renewable%20sources.pdf?t=RFp8bzZlYzNufDBJlqpe_h7s7zhmlG-50a97)>.

CDM EXECUTIVE BOARD. **Glossary CDM terms.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <[https://cdm.unfccc.int/Reference/Guidclarif/glos\\_CDM.pdf](https://cdm.unfccc.int/Reference/Guidclarif/glos_CDM.pdf)>. Acesso em: 13 out. 2017.

CDM WATCH. **Manual para o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.** [s.l.] CDM Watch, 2003.

Centran - Centro de Excelência em Engenharia de Transportes (2008). **Portos – PNLT.** Brasília: Ministério dos Transportes (Org.). Disponível em: <<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>>. Acesso em: 22 fev. 2018.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais.** 2. ed. [s.l.] EDGARD BLUCHER, 1999.

CLEAN DEVELOPMENT MECHANISM. **ACM0002\_(v17 0) Grid-connected electricity generation from renewable sources.** [s.l: s.n.] 2016. Disponível em: <<https://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/8W400U6E7LFHHYH2C4JR1RJWWO4PVN>>. Acesso em: 30 mai. 2017

CONAMA. **Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986.** Disponível em: <[http://www2.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA\\_RES\\_CONS\\_1986\\_001.pdf](http://www2.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_1986_001.pdf)>. Acesso em: 15 maio 2017.

DEATON, M. L.; WINEBRAKE, J. J. **Dynamic Modeling of Environmental Systems.** New York: Springer, 2000.

**DINAMICA EGO.** Version 4.0. Belo Horizonte: CSR/UFMG, 2015. Disponível em: <<http://csr.ufmg.br/dinamica/releases/>>. Acesso em: 19 ago. 2015.

ECOPART. **Teles Pires Hydropower Plant Project Activity.** [s.l: s.n.]. Disponível em:

<[https://cdm.unfccc.int/filestorage/m/q/2P0HTGXXK514CYIJUB3WAQS9O8FVREM.pdf/PD Dv7.0\\_Teles Pires.pdf?t=bkd8cDhteGFlfDC\\_Mq4618EcxBmtI2ZH7Zn](https://cdm.unfccc.int/filestorage/m/q/2P0HTGXXK514CYIJUB3WAQS9O8FVREM.pdf/PD Dv7.0_Teles Pires.pdf?t=bkd8cDhteGFlfDC_Mq4618EcxBmtI2ZH7Zn)>. Acesso em: 15 jun. 2016.

EPE. **Análise Energética e Dados Agregados Balanço Energético Nacional 2015: Ano base 2014**. Rio de Janeiro: [s.n.]. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2015.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf)>.

FARIA, F. A. M. DE et al. Estimating greenhouse gas emissions from future Amazonian hydroelectric reservoirs. **Environmental Research Letters**, v. 10, n. 12, p. 124019, 2015.

FEARNSIDE, P. M. Uso Da Terra Na Amazônia E As Mudanças Climáticas Globais. **Revista SEB**, v. 10, n. 2, p. 83–100, 2007.

FEARNSIDE, P. M. et al. Modelagem de desmatamento e emissões de Gases de Efeito Estufa na região sob influência da rodovia Manaus-Porto Velho (BR-319). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 2, p. 208–233, 2009.

FEARNSIDE, P. M. Impacts of Brazil's Madeira River Dams: Unlearned lessons for hydroelectric development in Amazonia. **Environmental Science and Policy**, v. 38, 2014a.

FEARNSIDE, P. M. A Hidrelétrica de Teles Pires Ecology and natural resources management in Roraima's Savanna, northern Brazilian Amazonia View project. **Amazônia Real**, p. 8, 22 dez. 2014b.

FEARNSIDE, P. M. Tropical hydropower in the clean development mechanism: Brazil's Santo Antônio Dam as an example of the need for change. **Climatic Change**, p. 575–589, 2015a.

FEARNSIDE, P. M. **Hidrelétricas Na Amazônia: impactos ambientais e sociais na tomada de decisões sobre grandes obras**. 1. ed. Manaus: INPA, 2015b. v. 1

FEARNSIDE, P. M. Emissions from tropical hydropower and the IPCC. **Environmental Science and Policy**, v. 50, n. Table 1, p. 225–239, 2015c.

FEARNSIDE, P. M. Crédito de carbono para usinas hidrelétricas como fonte de emissões de gases de efeito estufa: o exemplo da usina hidrelétrica de Teles Pires. In: ALARCON, D. F.; MILLIKAN, B.; TORRES, M. (Eds.). **Ocekiadi: hidrelétricas, conflitos socioambientais e resistência na Bacia do Tapajós**. Santarém: International Rivers Brasil e Programa da Antropologia e Arqueologia da UFOPA, 2016a. p. 511–529.

FEARNSIDE, P. M.; FERNANDES, T. **Hidrelétricas Na Amazônia**. Manaus: INPA, 2015d. v. 1

FEARNSIDE, P. M.; PUEYO, S. Barragens Tropicais e Gases de Efeito Estufa. **Amazônia Real**, 2015e.

GILES, J. Methane quashes green credentials of hydropower. **Nature**, v. 444, n. 7119, p. 524–525, 2006.

HAGEN, A. Fuzzy set approach to assessing similarity of categorical maps. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 17, n. 3, p. 235–249, abr. 2003.

HIRSCH, A. I. et al. The net carbon flux due to deforestation and forest re-growth in the Brazilian Amazon: Analysis using a process-based model. **Global Change Biology**, v. 10, n. 5, p. 908–924, 2004.

HOUGHTON, J. T.; JENKINS, G. J.; EPHRAUMS, J. J. **CLIMATE CHANGE - The IPCC Scientific Assessment**, 1990.

HU, Y.; CHENG, H. The urgency of assessing the greenhouse gas budgets of hydroelectric reservoirs in China. **Nature Climate Change**, v. 3, n. 8, p. 708–712, 2013.

IBGE. **Tabela 200: População residente, por sexo, situação e grupos de idade - Amostra - Características Gerais da População**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/200#resultado>>. Acesso em: 15 fev. 2018.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (1978). **Projeto RADAMBRASIL - Mapa de Vegetação do Brasil**. Rio de Janeiro, Brasil: IBGE. Disponível em: <[ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes\\_ambientais/acervo\\_radambrasil/](ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/acervo_radambrasil/)>. Acesso em: 25 maio 2017.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Embrapa Solos (2001). **Mapa de solos do Brasil (base digital georreferenciada)**. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: <[http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/mapa\\_solos.php&gws\\_rd=cr&ei=Nq0XV7udH4GHwgS0oLXoAw](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/mapa_solos.php&gws_rd=cr&ei=Nq0XV7udH4GHwgS0oLXoAw)>. Acesso em: 25 maio 2017.

IMAZONGEO. Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia. **Polos Madeireiros**. 2017. Disponível em: <<http://www.imazongeo.org.br/doc/downloads.php>>. Acesso em: 25 maio 2017.

Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA (2017). **Assentamentos Rurais (base digital georreferenciada)**. Disponível em: <<http://acervofundiario.incra.gov.br/geodownload/geodados.php>>. Acesso em: 25 maio 2017.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE (2017). **Projeto Prodes - Monitoramento de Desmatamento na Amazônia Legal (base digital georreferenciada)**. São José dos Campos, Brasil: INPE. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php>>. Acesso em: 25

maio. 2017.

IPCC. Appendix 3 CH<sub>4</sub> Emissions from Flooded Land: Basis for Future Methodological Development Flooded Land Remaining Flooded Land. **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Ap1.1**, p. 8, 2006.

IPCC. **Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** (O. Edenhofer, R. P. MAdruga, Y. Sokona, Eds.). New York, USA: Cambridge University Press, 2012. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/srren/>>.

KAHN, J. R.; FREITAS, C. E.; PETRERE, M. False shades of green: The case of Brazilian Amazonian hydropower. **Energies**, v. 7, n. 9, p. 6063–6082, 2014.

LASCHEFSKI, K. Licenciamento e equidade ambiental. In: ZHOURI, A. (Ed.). . **As tensões do lugar: Hidrelétricas, sujeitos e licenciamento ambiental**. 1. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2011. p. 21–59.

LEME-CONCREMAT. **Estudo de Impacto Ambiental da Usina Hidrelétrica Teles Pires**. [s.l: s.n.].

LEME-CONCREMAT. **Certificações | Hidrelétrica Teles Pires**. Disponível em: <[http://www.uhetelespires.com.br/site/?page\\_id=68#body](http://www.uhetelespires.com.br/site/?page_id=68#body)>. Acesso em: 26 maio. 2018.

LIMA, T. C. DE et al. DINAMICA EGO e Land Change Modeler para simulação de desmatamento na Amazonia brasileira: análise comparativa. **XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, p. 6379–6386, abr. 2013.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Embrapa. Monitoramento por Satélite (2000). **Brasil em Relevo**. Campinas, Brasil: EMBRAPA. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/download/>>. Acesso em: 25 maio 2017.

MCTI. **ESTIMATIVAS ANUAIS DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO BRASIL**. Brasília: [s.n.]. Disponível em: <<http://sirene.mcti.gov.br/documents/1686653/1706227/Estimativasd.pdf/0abe2683-e0a8-4563-b2cb-4c5cc536c336>>. Acesso em: 25 maio. 2018.

MELLO, B. A. DE. **Modelagem e Simulação de Sistemas** Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, , 2007. Disponível em: <<http://www.engenharia-puro.com.br/edwin/Mesc-Simul/LIVRO-SimulacaoDeSistemas.pdf>>

NEPSTAD, D. C.; STICKLER, C. M.; ALMEIDA, O. T. Globalization of the Amazon Soy and Beef Industries: Opportunities for Conservation. **Conservation Biology**, v. 20, n. 6, p. 1595–1603, 2006.

RODRIGUES, H. O. et al. **Dinamica EGO, uma plataforma para modelagem de sistemas ambientais**. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. Disponível em:

<<http://marte.sid.inpe.br/attachment.cgi/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.06.17.59/doc/3089-3096.pdf>>

SANTOS, Lucas Rodrigues de Sousa.; SOARES FILHO, Britaldo Silveira.; OLIVEIRA, Ubirajara de. **Trajatórias futuras do fogo florestal no bioma amazônico sob as mudanças do clima**. 2018. x, 41 f., enc. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Cartografia, 2018.

ROSA, A. L. M. DA. O MDL no Brasil e a promoção do desenvolvimento sustentável: um estudo empírico. **REAd**, v. 15, n. 3, p. 1–5, dez. 2009.

ROSA, L. P. et al. Greenhouse gas emissions from hydroelectric reservoirs in tropical regions. **Climatic Change**, v. 66, p. 9–21, 2004.

ROSA, L. P. et al. Scientific Errors in the Fearnside Comments on Greenhouse Gas Emissions (GHG) from Hydroelectric Dams and Response to His Political Claiming. **Climatic Change**, v. 75, n. 1–2, p. 91–102, 2006.

SANTO ANTÔNIO ENERGIA S.A. **Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno do Reservatório Artificial da UHE Santo Antônio**. São Paulo: [s.n.]. Disponível em: <[http://licenciamento.ibama.gov.br/Hidreletricas/SantoAntonio\(RioMadeira\)/Relatorios/POS\\_LO/2ºrelatóriosemestral/ANEXOS/SECAO\\_26/ANEXO\\_26.1/PACUERA - UHE SANTO ANTONIO.pdf](http://licenciamento.ibama.gov.br/Hidreletricas/SantoAntonio(RioMadeira)/Relatorios/POS_LO/2ºrelatóriosemestral/ANEXOS/SECAO_26/ANEXO_26.1/PACUERA-UHE_SANTO_ANTONIO.pdf)>.

SANTO ANTÔNIO ENERGIA S.A. **Monitoring report from Santo Antonio Hydropower Project**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <[http://cdm.unfccc.int/filestorage/X/Z/9/XZ97L40DSVEJ1C8RHMOK2WYBUA5GTI/UHE\\_SA\\_MR\\_2013.10.01\\_v.01\\_?t=Wmt8b3hxdjd4fDBaoRmfWgO2tuv7dLjbrII](http://cdm.unfccc.int/filestorage/X/Z/9/XZ97L40DSVEJ1C8RHMOK2WYBUA5GTI/UHE_SA_MR_2013.10.01_v.01_?t=Wmt8b3hxdjd4fDBaoRmfWgO2tuv7dLjbrII)>. Acesso em: 13 out. 2017.

SANTOS, M. A. DOS et al. Emissões De Gases De Efeito Estufa Por Reservatórios De Hidrelétricas. **Oecologia Australis**, v. 12, n. 01, p. 116–129, 2008.

SBSIA, S. B. S. I. DE A. As principais fontes dos gases efeito estufa no Brasil e sua regulamentação. **Jusbrasil**, 2015.

SOARES-FILHO, B. S., Nepstad D, Cerqueira G, Alencar A (2003). **System architecture of a spatially explicit model to simulate deforestation in the Amazon basin**. In: Seventh LBA-ECO Science Team Business Meeting, Fortaleza, Brazil. Disponível em:

<[https://www.lbaeco.org/lbaeco/out/news\\_events/conf110503/abs\\_book.pdf](https://www.lbaeco.org/lbaeco/out/news_events/conf110503/abs_book.pdf)>. Acesso em: 22 de fev. 2018

SOARES-FILHO, B. S. et al. Cenários de desmatamento para a Amazônia. **Estudos avançados**, v. 19, n. 54, p. 137–152, 2005.

SOARES-FILHO, B. S. et al. **Modelling conservation in the Amazon basin**. v. 440, n. March, p. 3–6, 2006.

SOARES-FILHO, B. S. et al. **Coupling socioeconomic and demographic dimensions to a spatial simulation model of deforestation for the Brazilian Amazon** Salvador 11th LBA-ECO Science Team Meeting, , 2007. Disponível em: <[https://lbaeco-archive.ornl.gov/lbaeco/meeting11/eco11\\_presentations/2C.3 - Britaldo.pdf](https://lbaeco-archive.ornl.gov/lbaeco/meeting11/eco11_presentations/2C.3_Britaldo.pdf)>. Acesso em: 8 maio. 2018

SOARES FILHO, Britaldo Silveira; GARCIA, Ricardo Alexandrino; RODRIGUES, Hermann; MORO, Sueli; NEPSTAD, Daniel. **Nexos entre as dimensões socioeconômicas e o desmatamento: A caminho de um modelo integrado**. In: BATISTELLA, Mateus; ALVES, Diogenes; MORAN, Emilio. (Org.). *Amazônia. Natureza e Sociedade em Transformação*. São Paulo, 2008, v. 1.

SOARES-FILHO, B. S. et al. **Modelling Environmental dynamics with Dinamica EGO**. Belo Horizonte: Britaldo Silveira Soares-Filho, 2009a.

SOARES-FILHO, B. S. et al. **Redução das emissões de carbono do desmatamento no Brasil: o papel do Programa Áreas Protegidas da Amazônia (Arpa)**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.programaarpa.gov.br/wp-content/uploads/2012/09/reduodasEmisses.pdf>>. Acesso em: 13 jul. 2017.

Soares-Filho, B. S.; Rajão, R.; Merry, F.; Rodrigues, H.; Davis, J.; Lima, L.; Macedo, M.; Coe, M.; Carneiro, A.; Santiago, L. (2016). **Brazil's Market for trading forest certificates**. *Plos One* 11(4):e0152311. Disponível em: <<http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371%2Fjournal.pone.0152311>>. Acesso em: 25 maio 2017.

SOARES-FILHO, B. S. **MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS**. Belo Horizonte, MG: Centro de Sensoriamento Remoto - UFMG, , 2016. Disponível em: <[www.csr.ufmg.br/modelagem\\_sistemas\\_dinamicos/aula3.pdf](http://www.csr.ufmg.br/modelagem_sistemas_dinamicos/aula3.pdf)>. Acesso em: 13 abr. 2017

UNFCCC. **Text of the convention**. UNFCCC, 1992 Disponível em: <[http://unfccc.int/files/essential\\_background/background\\_publications\\_htmlpdf/application/p](http://unfccc.int/files/essential_background/background_publications_htmlpdf/application/p)

df/conveng.pdf>. Acesso em: 7 abr. 2017

UNFCCC. **Clean development mechanism: CDM methodology booklet**. [s.l: s.n.]. v. 2015