

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

Avaliação de cenários de desmatamento para o estado do Pará

Estudante: Maria Luíza Corrêa Brochado – mat. 150100825

Linha de pesquisa: Mapeamento e o monitoramento ambiental no Brasil Central e Amazônia Legal

Brasília, DF- Agosto/2017.

FICHA CATALOGRÁFICA

Ba Brochado, Maria Luiza Correa Brochado
Avaliação de cenários de desmatamento para o estado do
Pará / Maria Luiza Correa Brochado Brochado; orientador
Osmar Abílio de Carvalho Júnior. -- Brasília, 2017.
44 p.

Dissertação (Mestrado - Mestrado em Geografia) --
Universidade de Brasília, 2017.

1. Modelo de desmatamento. 2. LUCC model. 3. Amazônia, .
4. Pará. 5. DINAMICA EGO. I. Carvalho Júnior, Osmar Abílio
de , orient. II. Título.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BROCHADO, Maria Luíza Correa . **Avaliação de cenários de desmatamento para o estado do Pará.** Dissertação de mestrado em geografia. DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA, Universidade de Brasília – UnB, Brasília/DF. 2017. 44 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR : Maria Luíza Correa Brochado

TÍTULO : Avaliação de cenários de desmatamento para o estado do Pará

GRAU : MESTRE

ANO : 2017

É concedido à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização do autor.

Resumo

A presente pesquisa possui como objetivo modelar o desmatamento no Estado do Pará de modo a capturar as variáveis que permitam descrever esse fenômeno usando o programa DINAMICA EGO. Na modelagem foram utilizadas as camadas: solos, declividade, altitude, rodovias (principais), sede dos municípios (proximidade dos núcleos urbanos), Unidades de Conservação (UC), terras indígenas (TI), pequenas centrais hidrelétricas (PCH), usinas hidrelétricas (UHE) e assentamentos. Também foram utilizados os dados de desmatamento, para o bioma Amazônico proveniente do PRODES no período 2000 – 2012. Foram usados ainda dados dos preços das *commodities* soja e carne provenientes da Secretaria de Estado de Desenvolvimento Agropecuário e da Pesca – SEDAP do estado do Pará. Para os cenários avaliados é esperado que no contexto do cenário 1 (2000 - 2004), o estado do Pará tenha desmatado em 2030, 689.160,37 Km². No contexto do cenário 2 (2005 – 2009), espera-se que sejam desmatados até 2030, 754.960,88 Km². No contexto do cenário 3 (2010 - 2014) até 2030, espera-se que sejam desmatados 741.947,62 Km². Com relação aos remanescentes florestais, observou-se que o cenário 1 em 2030 contará 480.877,7 Km² de floresta. No contexto do cenário 2, espera-se que o estado do Pará possua em 2030, 251.807,7 Km². No contexto do cenário 3 é esperado que em 2030 o estado do Pará conserve 442.979,22 Km² de floresta. Para o cenário 1 obteve-se sucesso na reprodução do padrão espacial para o ano de 2004 mas a área desmatada na fase de validação foi subestimada. Já os cenários 2 e 3 obtiveram êxito tanto na reprodução do padrão espacial quanto no cálculo de área. Os resultados mostram que as Unidades de Conservação e Terras Indígenas por si só não serão capazes de conter o avanço do desmatamento que fica mais acentuado em se tratando das Unidades de Conservação de uso sustentável. Ainda as Terras Indígenas também não poderão conter o avanço do desmatamento sendo necessário que políticas mais rigorosas no que concerne ao uso restrito dessas áreas. Analisando o comportamento das variáveis utilizadas na modelagem, é possível perceber que as futuras áreas desmatadas se distribuem espacialmente de maneira semelhante as áreas de maior concentração de cultivo de soja e rebanho de bovinos. Dessa forma, é importante que seja fiscalizado o avanço da atividade agropecuária na região uma vez que o incentivo da expansão da infraestrutura logística favorece o aumento do cultivo de soja exercendo pressões sob as áreas de floresta no estado do Pará.

Palavra-chave: Modelo de desmatamento, sistema de informação geográfica, Amazônia, Pará, LUC model, DINAMICA EGO, soja e bovinos

Abstract

The present research aims to model deforestation in the State of Pará in order to capture the variables that allow to describe this phenomenon using the DYNAMICA EGO program. In the modeling the layers were used: soils, slope, altitude, highways (main), headquarters of the municipalities (proximity to urban centers), Conservation Units (UC), indigenous lands (IT), small hydroelectric plants (HPP) and settlements. Were also used deforestation data for the Amazon biome from PRODES in the period 2000 - 2012. Data on soybean and beef commodities prices were also used from the State Secretariat for Agricultural Development and Fisheries (SEDAP) in the state of Pará. For the scenarios evaluated it is expected that in the context of scenario 1 (2000 - 2004), the state of Pará deforested in 2030, 689,160.37 km². In the context of scenario 2 (2005 - 2009), it is expected to be deforested by 2030, 754,960.88 km². In the context of scenario 3 (2010 - 2014) until 2030, it is expected that 741,947.62 km² will be deforested. With respect to forest remnants, it was observed that scenario 1 in 2030 will count 480,877.7 km² of forest. In the context of scenario 2, the state of Pará is expected to have 2030, 251,807.7 km². In the context of scenario 3 it is expected that in 2030 the state of Pará will maintain 442,979.22 square kilometers of forest. For scenario 1, it was successful in reproducing the spatial pattern for the year 2004, but the deforested area in the validation phase was underestimated. Scenarios 2 and 3 were successful both in the spatial pattern reproduction and in the area calculation. The results show that the Conservation Units and Indigenous Lands alone will not be able to contain the progress of deforestation that is more pronounced in the case of Conservation Units of sustainable use. Analyzing the behavior of the variables used in the modeling, it is possible to perceive that the future deforested areas are spatially distributed in a similar way to the areas of higher concentration of soybean and cattle herds. Therefore, it is important to monitor the progress of the agricultural activity in the region since the incentive of the expansion of the logistics infrastructure favors the increase of soybean cultivation exerting pressures under the forest areas in the state of Pará.

Key words: Deforestation model, geographic information system, Amazon, Pará, LUC model, DINAMICA EGO, soybean and cattle.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Perda florestal anual observada 2000 – 2010 e projetada (2000 – 2050) para a Amazônia segundo linhas de base (Fonte: Dalla – Nora, 2014).	12
Figura 2: Mapa de localização o Estado do Pará.	14
Figura 3: Mapa de solos para o Estado do Pará	16
Figura 4: Mapa da declividade para o estado do Pará.	17
Figura 5: Mapa da variável estática de distância às rodovias do Estado do Pará....	17
Figura 6: Mapa da variável estática de distância de sede municipais do Estado do Pará.....	18
Figura 7: Mapa da variável categórica Áreas Protegidas do Estado do Pará.....	18
Figura 8: Mapa da variável distância às Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) do Estado do Pará.....	19
Figura 9: Mapa da variável estática de distância às Usinas Hidrelétricas (UHE's) do Estado do Pará.....	19
Figura 10: Mapa da variável estática de distância à assentamentos agrários do Estado do Pará.....	20
Figura 11: Mapa da variável área plantada de soja do Estado do Pará (cenário 1).	20
Figura 12: Mapa da variável área plantada de soja do Estado do Pará (cenário 2).	21
Figura 13: Mapa da variável área plantada de soja municipal (cenário 3).....	21
Figura 14: Mapa da variável rebanho bovino municipal do Pará (cenário 1).....	22
Figura 15: Mapa da variável rebanho bovino municipal do Pará (cenário 2).....	22
Figura 16: Mapa da variável rebanho bovino municipal do Pará (cenário 3).....	23
Figura 17: Mapa de probabilidade de transição de floresta/desmatamento considerando o cenário 1 para o Estado do Pará.	31
Figura 18: Mapa de probabilidade de transição de floresta/desmatamento considerando o cenário 2 para o Estado do Pará.	31

Figura 19: Mapa de probabilidade de transição de floresta/desmatamento considerando um cenário 3 para o Estado do Pará.	32
Figura 20.Índice de similaridade Fuzzy para o cenário 1 com diferentes tamanhos de janela.....	33
Figura 21.Índice de similaridade Fuzzy para o cenário 2 com diferentes tamanhos de janela.....	33
Figura 22.ndice de similaridade Fuzzy para o cenário otimista com diferentes tamanhos de janela.	34
Figura 23: Mapa de uso projetado no cenário 1 para o ano de 2030.	35
Figura 24: Mapa de uso projetado no cenário 2 para o ano de 2030.	35
Figura 25. Mapa de uso projetado no cenário 3 para o ano de 2030.	36
Figura 26.Quantidade produzida (t) de soja.	38
Figura 27.Valor (mil reais) da produção de soja.	38
Figura 28.Rebanho bovino efetivo no Pará.	39
Figura 29.Principais regiões exportadoras de soja e milho x principais portos (volume em milhões de toneladas).....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.Taxas de desmatamento consolidadas 2004-2014 (Km ² /ano) (Fonte: INPE/PRODES 2014).....	16
Tabela 2.Matrizes de transição global de desmatamento para os três cenários (1, 2 e 3).	28
Tabela 3.Matrizes de transição anual de desmatamento para os três cenários avaliados (1, 2 e 3).....	28
Tabela 4.Pesos de evidência para as faixas de distância da variável dinâmica “distância das áreas desmatadas” (Cenário 1).	29
Tabela 5.Análise de testes para análise de correlação de mapas (Cenário 1).	30

Sumário

1. INTRODUÇÃO	9
2. METODOLOGIA.....	14
2.1. ÁREA DE ESTUDO.....	14
2.2. ELABORAÇÃO DOS ATRIBUTOS DE ENTRADA.....	15
3. SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS FUTUROS USANDO O PROGRAMA DINAMICA EGO	23
3.1. <i>Geração da matriz de transição</i>	24
3.2. <i>Calibração do modelo</i>	24
3.3. <i>Criar e executar o modelo de simulação do desmatamento</i>	25
3.4. <i>Validação do modelo</i>	25
3.5. <i>Obtenção de cenários futuros</i>	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	27
4.1. RESULTADOS DOS PARÂMETROS DE ENTRADA DO MODELO	27
4.2. SIMULAÇÃO E VALIDAÇÃO.....	29
4.3. CENÁRIOS FUTUROS SIMULADOS	35
5. CONCLUSÕES	42
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

1. INTRODUÇÃO

A Floresta Amazônica é uma floresta tropical úmida que se estende pela bacia hidrográfica do rio Amazonas, possuindo uma área de aproximadamente 6,74 milhões km², que abrange oito países: Bolívia, Brasil, Colômbia, Equador, Guiana, Peru e Venezuela (MMA, 2016). É o maior bioma do Brasil (60,1% do território brasileiro), contendo 4,196.943 milhões de km², 2.500 espécies de árvores (ou um-terço de toda a madeira tropical do mundo) e 30 mil espécies de plantas (das 100 mil da América do Sul) (MMA, 2016). A bacia Amazônica é a maior bacia hidrográfica do mundo com cerca de 6 milhões de km², contendo o rio Amazonas que lança no Oceano Atlântico cerca de 175 milhões de litros d'água a cada segundo (MMA, 2016). Essa região pode ser vista como um espaço segmentado com ecossistemas heterogêneos e organizado por diferentes usos e agentes predominantes de ocupação, assumindo diferentes identidades socioeconômicas e institucionais (ESCADA & ALVES, 2001).

O processo de desmatamento em zonas tropicais é altamente complexo e tem sido tema de diversos estudos teóricos e empíricos mobilizando as ciências naturais e sociais (ARAUJO et al., 2011). O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) monitora o desmatamento na região Amazônica desde os anos 70 por meio de imagens de satélite. O programa PRODES (Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia) identificou as áreas desmatadas entre 1988-2002 por meio de interpretação visual e a partir de 2003 começou a adotar um método de interpretação assistida pelo computador (CÂMARA et al. 2006).

Até a década de 50, a ocupação da Amazônia limitava-se à região litorânea e às faixas de terras ribeirinhas dos principais rios navegáveis (ESPINDOLA, 2012). A partir de 1970, a Amazônia vivenciou uma ampla colonização da pecuária, majoritariamente na região do arco do desmatamento, em decorrência dos incentivos governamentais, desenvolvimento da infraestrutura viária, demanda do mercado internacional e políticas que promoveram a especulação da terra por recompensar os que desmataram com títulos de posse formal da terra (NEPSTAD et al., 2008). Em geral os latifundiários são mais atraídos pela posse da terra do que pela pecuária. Assim, pastos com baixas densidades são usados como estratégia eficiente para manter o solo limpo (KIRBY et al., 2006).

Na década de 80, a produção de grãos ganhou destaque, provocando mudanças no uso do solo da região Amazônica. Na década de 90, o Brasil tornou-se a principal área cultivada (BARONA, 2010) e na safra de 2015/2016 só ficou atrás do Estados Unidos em volume produzido. (EMBRAPA SOJA, 2017). A rápida expansão da produção de grãos na Amazônia foi ocasionada pelos seguintes fatores: (a) aumento da demanda global por carne de soja dos mercados globais (principalmente a China); (b) incentivos governamentais (isenções fiscais, marketing e infraestrutura); (c) fundo de pesquisas voltadas a agricultura com o desenvolvimento de novos cultivares; e o baixo preço das terras (BARONA, 2010). Na Amazônia a dinâmica de ocupação se dá pela compra de áreas desmatadas de pequenos produtores deslocando-os para as cidades ou novas fronteiras de maneira a reiniciar esse ciclo (KIRBY et al., 2006). O avanço da agricultura de exportação na Amazônia produz uma perda de bens e serviços ecossistêmicos (PIENIZ, 2016). Alguns pesquisadores sugerem que muito do desmatamento atual é relacionado à expansão da soja (FEARNSIDE, 2005), mas outros argumentam que a expansão da soja se dá em terras usadas previamente para pastagem, não causando desmatamento (MUELLER 2003, BRANDÃO et al., 2005). Embora a expansão da pecuária continue sendo considerada o vetor primário para o desmatamento, a expansão da agricultura mecanizada (grãos) alterou a dinâmica do desmatamento, ambos aumentando a conversão de florestas em plantações de soja e indiretamente substituindo os pastos, movendo alguns pecuaristas para outras regiões florestadas (MACEDO, 2012).

Nos anos de 2000, ocorreram o fim de diversas políticas que estimularam o desmatamento. Em 2004, foi lançado o Plano de ação para Proteção e Controle do Desmatamento na Amazônia (PPCDAM) com o objetivo de reduzir de forma contínua e consistente o desmatamento e criar as condições para se estabelecer um modelo de desenvolvimento sustentável na Amazônia Legal. As ações contidas no PPCDAM contribuíram significativamente para a drástica redução na taxa de desmatamento da Amazônia, medida pelo Projeto Prodes (Projeto de Monitoramento do Desflorestamento na Amazônia Legal, de responsabilidade do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE/MCTI). A taxa anual passou de 27.772 km² em 2004 para 7.989 km² em 2016 (dado preliminar), uma redução de 70% em 10 anos (MMA, 2017).

Essas baixas no desmatamento coincidem com flutuações nos mercados de *comodities* e a implementação de severas políticas de controle com fins a restringir

o crédito para os que desmatam, melhorando o monitoramento e fiscalização e a exclusão do desmatamento das cadeias produtiva dos maiores exportadores (MACEDO, 2012). Mesmo diante do exposto, a relação entre desmatamento e cultivo de soja apresenta padrão oscilante sendo comprovado somente para a última metade dessa década (MACEDO, 2012).

Ainda que dentro desse cenário de devastação e diante da sabida posição de importância do bioma na dinâmica climática global bem como o potencial de biodiversidade que abriga, apenas um terço da Amazônia Legal é classificado como área protegida ou reserva indígena. Reservas indígenas representam 76% dessa área e envolvem 22,5% do bioma Amazônico. Unidades de proteção integral que não se sobrepõem com áreas indígenas representam apenas 4,9% do bioma Amazônico e unidades de conservação de uso sustentável (em sua maioria de florestas nacionais e são sujeitas à extração industrial de madeira) representam 9% (VERÍSSIMO et al., 2013). Estudos têm mostrado que embora as reservas indígenas ou áreas protegidas restrinjam o desmatamento ilegal, essas áreas são o centro de muitas das atividades legais e ilegais de extração de madeira (facilitada pela proximidade de rodovias), caça ilegal e incêndios (VERÍSSIMO et al., 2013).

O emprego de modelos permite compreender quais fatores norteiam o desmatamento e sua evolução. Goodchild (1993) definiu a modelagem de dados geográficos como o processo que converte a realidade geográfica complexa em um número finito de registros ou objetos. Os modelos são simplificações da realidade e construídos a partir da observação dos dados espaciais e seus relacionamentos, de onde se abstraem os elementos mais importantes e permite conhecer o processo, efetuar previsões de valores ou comportamentos em áreas não observadas e comprovar hipóteses feitas sobre processos.

A modelagem dinâmica da paisagem ganhou impulso nas últimas décadas devido à ampla disponibilização de dados de sensoriamento remoto e popularização de plataformas de geoprocessamento (DALLA- NORA, 2014), tornando-se ainda mais sofisticados com a incorporação de conceitos de autômatos celulares, lógica fuzzy e inteligência artificial, como redes neurais, sistemas multi-agentes e algoritmos genéticos (PAEGELOW & CAMACHO, 2008). Programas que integram essas tecnologias com Sistemas de Informação Geográfica (SIG) permitem a modelagem espacial e dinâmica das alterações nas paisagens, permitindo o entendimento de seus padrões e tendências para a prospecção de cenários futuros.

Durante muito tempo, a modelagem do desmatamento na Amazônia baseou-se em modelos econométricos e GRID. Estudos econométricos apontaram que os fatores mais influentes na mudança de uso do solo foram a densidade populacional, a densidade de rodovias e a extensão de áreas cultivadas (REIS & GUZMÁN, 1992). Conforme Andersen & Reis (1997), as mudanças de uso estão correlacionadas com a distância de centros urbanos, áreas de clareiras, densidade da população rural, preço da terra e o tamanho do rebanho bovino. Baseado em modelos GRID, Laurance (2002) realizou uma análise estatística para avaliar o peso dos fatores determinantes para a mudança do uso, identificando três elementos principais: densidade populacional, distância de rodovias e duração da estação seca. Os resultados encontrados por Soares-Filho (2006) indicaram que o fator mais importante para prever onde ocorrerá o desmatamento é a proximidade de rodovias, reservas indígenas e proximidade de centros urbanos. Em trabalho mais recente, Soares-Filho et al., (2010) mostrou que terras indígenas, unidades de conservação de uso integral e uso sustentável inibiram o desmatamento entre 1997 e 2008.

Segundo Dalla-Nora (2014), nenhuma das projeções atualmente disponíveis na literatura foi capaz de capturar, de forma plausível, a trajetória global da mudança de uso de solo que vem sendo observada durante a última década na Amazônia (LAURANCE et al., 2001; AGUIAR, 2006; SOARES-FILHO et al., 2006; NEPSTAD et al., 2008; LAPOLA et al., 2011) (**Figura 1**). Em 2012, após um longo período de massivos desmatamentos, as taxas de desmatamento caíram drasticamente para 4571 Km², o que significa uma diminuição de mais de 84% durante o período desde 2004 (27,772 Km²), um dos mais altos níveis registrados em um ano (INPE, 2013). Tais inconsistências entre o projetado e o observado podem estar diretamente ligadas à forma como as projeções vem sendo simuladas, especialmente com relação à quantidade de mudança, assumindo um aumento contínuo das mudanças ou uma estabilização em altos níveis (DALLA-NORA, 2014). A combinação de políticas regionais para combater o desmatamento ilegal e a queda dos preços de *commodities* agrícolas podem ser considerados como vetores primários para a desaceleração do desmatamento observado desde 2004 (ASSUNÇÃO et al., 2012; MACEDO et al., 2012; BOUCHER et al., 2013).

A maioria das projeções feitas para a Amazônia adotaram vetores espaciais (como distância de estradas e outros projetos de infraestrutura) como critério para estimar as taxas de demanda por terra (LAURANCE et al., 2001; SOARES-FILHO et al., 2006). Para esses vetores, o uso das taxas históricas de desmatamento

(décadas de 70 e 80) foi adicionado para a parametrização dos impactos das novas infraestruturas e para definir o fator de linha de base. No entanto, as taxas históricas de desmatamento ocorreram em contextos econômicos, políticos e sociais que são completamente diferentes dos atuais dificultando a sua previsão.

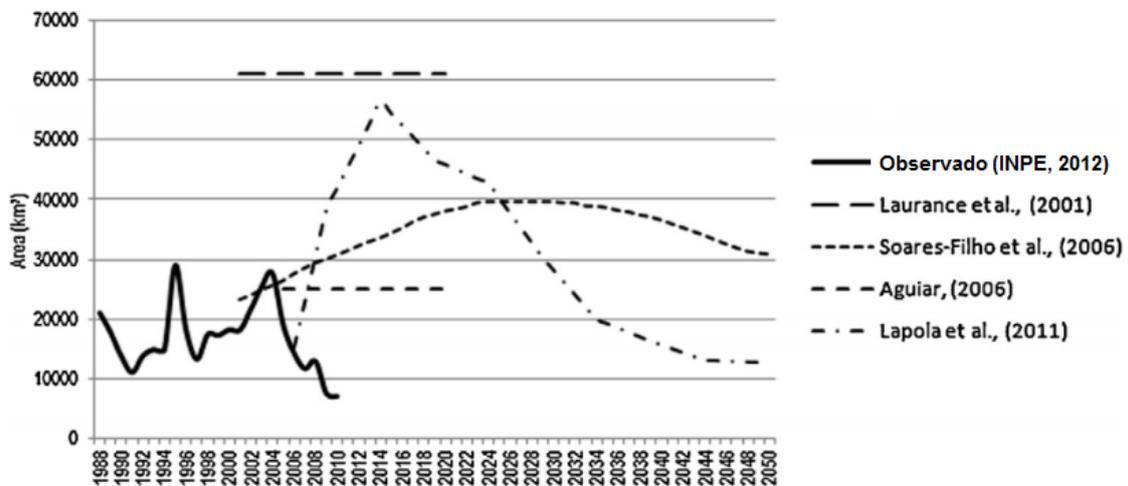


Figura 1: Perda florestal anual observada 2000 – 2010 e projetada (2000 – 2050) para a Amazônia segundo linhas de base (Fonte: DALLA – NORA, 2014).

Diante do exposto, o presente trabalho possui como objetivo elaborar prognósticos do desmatamento para o período de 2005–2030, 2011–2030 e 2015–2030 para o Estado do Pará com base em mapeamentos das mudanças de cobertura da terra da última década, considerando três cenários: 1 (período de 2000 - 2004), 2 (período de 2005 - 2009) e 3 (período de 2010 – 2014).

2. METODOLOGIA

2.1. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é o Estado do Pará, o segundo maior estado do país com uma extensão de 1.248.042,515 km², dividido em 144 municípios e fazendo limites com: Suriname e Amapá (norte), oceano Atlântico (nordeste), Maranhão (leste), Tocantins (sudeste), Mato Grosso (sul), Amazonas (oeste), Roraima e Guiana (noroeste) (**Figura 2**) (GOVERNO DO ESTADO DO PARÁ, 2017).

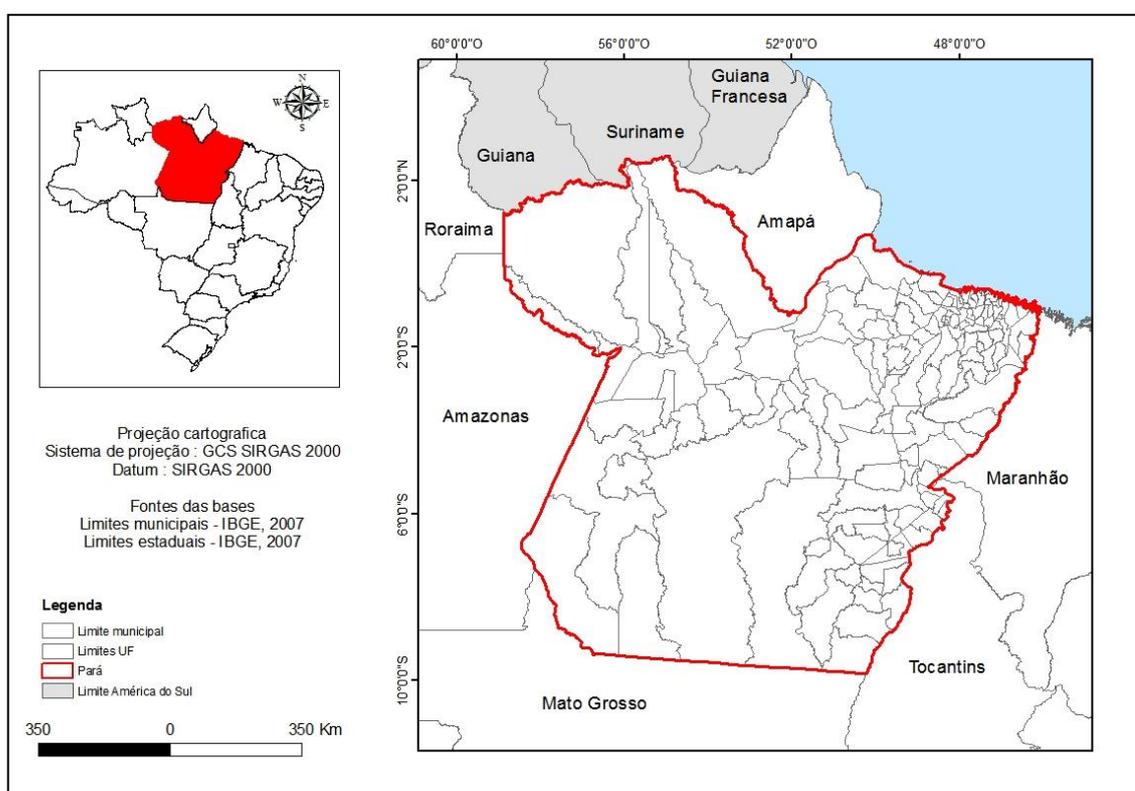


Figura 2. Mapa de localização o Estado do Pará.

O estado é o mais populoso da região norte, com uma população de 8.175.113 habitantes (IBGE, 2016). Sua capital, Belém, reúne em sua região metropolitana cerca de 2,1 milhões habitantes, sendo a maior população metropolitana da região Norte. O relevo é baixo e plano com 58% do território abaixo dos 200 metros. As altitudes superiores a 500 metros estão nas serras de Carajás, Caximbo e Acari. Os rios principais são: Amazonas, Tapajós, Tocantins, Xingu, Jari e Pará. Com relação ao desmatamento na Amazônia, o Pará apresenta a maior taxa

de desmatamento para o período de 2014 (1829 Km²), ultrapassando o estado de Mato Grosso (PRODES, 2014) (**Tabela 1**).

Tabela 1. Taxas de desmatamento consolidadas 2004-2014 (Km²/ano) (Fonte: INPE/PRODES 2014).

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Var. 14-13	Var. 14-04
AC	728	592	398	184	254	167	259	280	305	221	312	41%	-57%
AM	1232	755	788	610	604	405	595	502	523	583	464	-20%	-62%
AP	46	33	30	39	100	70	53	66	27	23			
MA	755	922	674	631	1271	828	712	396	269	403	246	-39%	-67%
MT	11014	7145	4333	2670	3258	1049	871	1120	757	1139	1048	-8%	-91%
PA	8870	5899	5659	5526	5607	4281	3770	3008	1741	2346	1829	-22%	-79%
RO	3858	3244	2049	1611	1136	482	435	865	773	932	668	-28%	-83%
RR	311	133	231	309	574	121	256	141	124	170	233	37%	-25%
TO	158	271	124	63	107	61	49	40	52	74	48	-35%	-70%
Total	27772	19014	14286	11651	12911	7464	7000	6418	4571	5891	4848	-18%	-83%

O Pará está situado no maior corredor de florestas protegidas do mundo, 57% do seu território é de áreas protegidas (unidades de proteção integral, uso sustentável e Terras Indígenas). Com a conservação da riqueza genética da floresta tropical é possível preservar a ocorrência de diversas espécies muitas ainda desconhecidas pela ciência e ainda fontes de renda para a população local (GOVERNO DO ESTADO DO PARÁ, 2017)

2.2. ELABORAÇÃO DOS ATRIBUTOS DE ENTRADA

Para a modelagem foram utilizados os seguintes planos de informação para o Estado do Pará: (a) mapa de solos (**Figura 3**); (b) declividade do terreno (**Figura 4**); (c) rodovias (**Figura 5**); (d) sede dos municípios (proximidade dos núcleos urbanos) (**Figura 6**); (e) áreas protegidas (Unidades de Conservação – UC e terras indígenas - TI) (**Figura 7**); (f) Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) (**Figura 8**); (h) Usinas Hidrelétricas (UHE's) (**Figura 9**); (i) assentamentos agrários (**Figura 10**); (j) produção de soja municipal no estado do Pará gerados para os três cenários propostos (**Figura 11**); (l) rebanhos bovinos (**Figura 12**); e ainda foram utilizados as áreas desmatadas para os cenários propostos proveniente do Programa de Monitoramento do Desflorestamento na Amazônia (PRODES) desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Os dados temáticos contendo limites estaduais, municipais, estradas, rios, áreas protegidas, em formato vetorial

foram obtidos no IBGE. O Modelo Digital de Terreno utilizado foi o TOPODATA fornecido pelo INPE.

Os mapas de variáveis estáticas (rodovias, sede de municípios, pequenas centrais hidrelétricas, usinas hidrelétricas e assentamentos) foram gerados a partir das distâncias euclidianas. Os mapas de variáveis categóricas (Unidades de Conservação - proteção integral, uso sustentável e terras indígenas- e solos) foram obtidos atribuindo códigos às classes especiais já que na conversão para o formato raster as informações sobre as UC's e solos se perdem. Para os mapas de área plantada de soja e rebanho bovino foram geradas as médias municipais para os cenários propostos a partir dos dados obtidos na Secretaria de Estado de Desenvolvimento Agropecuário e da Pesca – SEDAP do estado do Pará e divididos em faixas de interesse assim como para a variável declividade gerado a partir de Modelo Digital de Terreno do TOPODATA – INPE.

As bases de dados foram padronizadas no mesmo sistema de projeção cartográfica (Albers) e transformadas para o formato de imagem (raster) com uma resolução espacial de 100 m, contendo mesma dimensão de linhas e colunas.

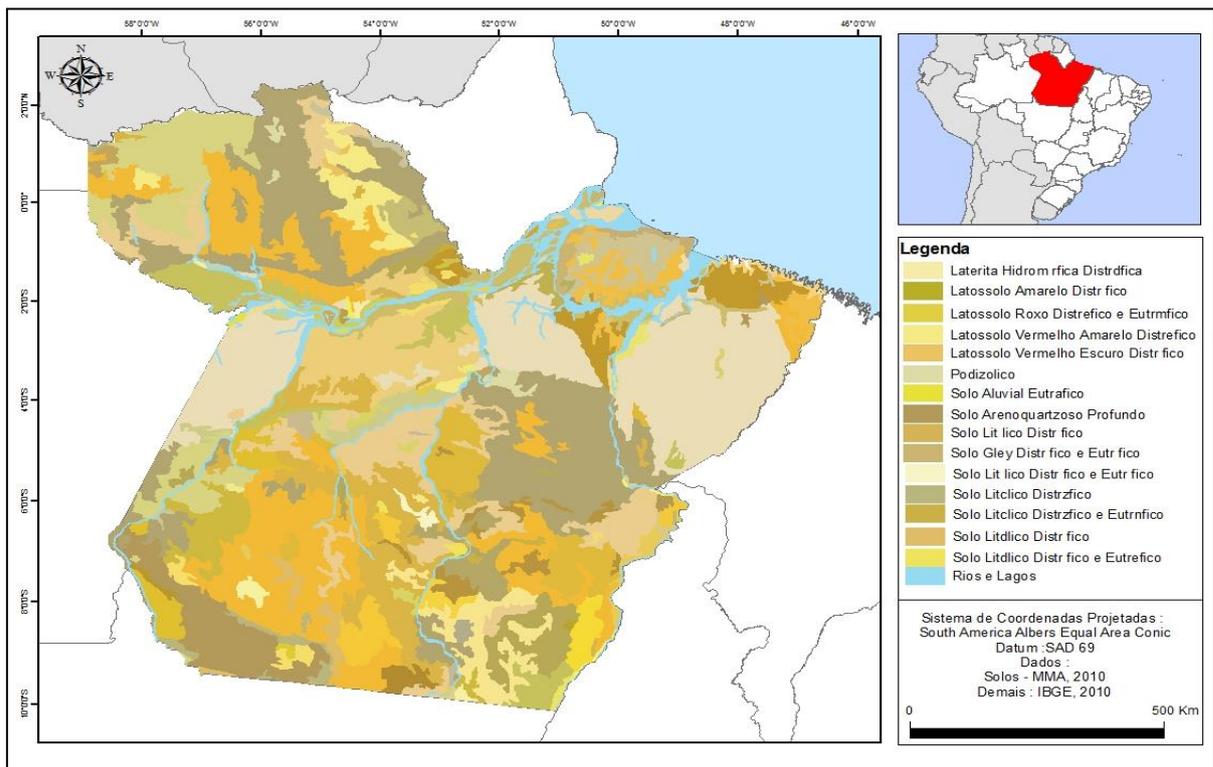


Figura 3. Mapa de solos para o Estado do Pará

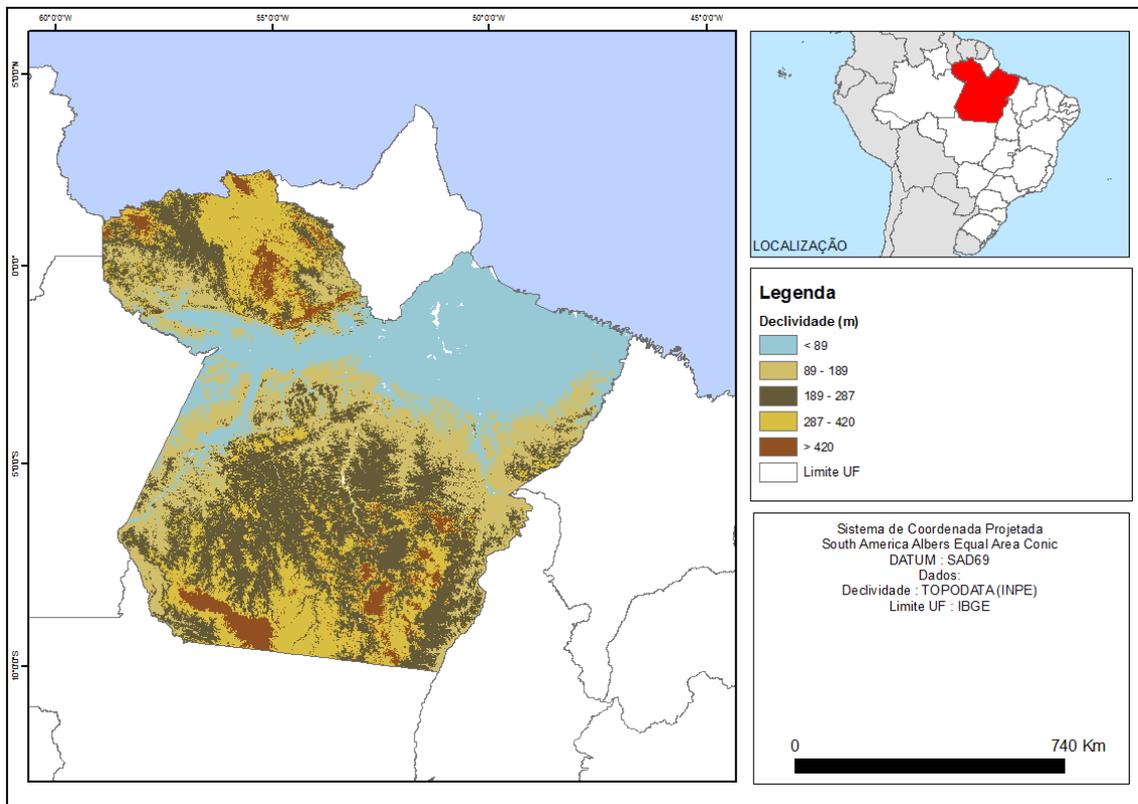


Figura 4. Mapa da declividade para o estado do Pará.

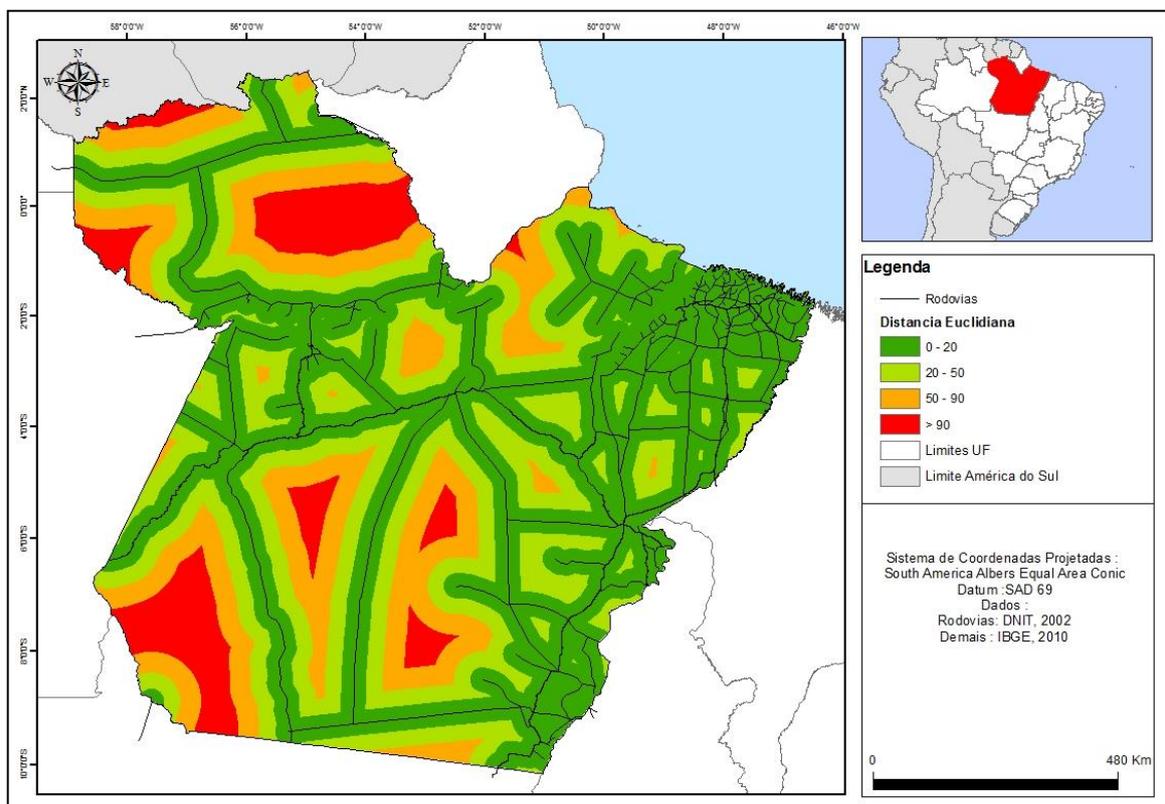


Figura 5. Mapa da variável estática de distância às rodovias do Estado do Pará

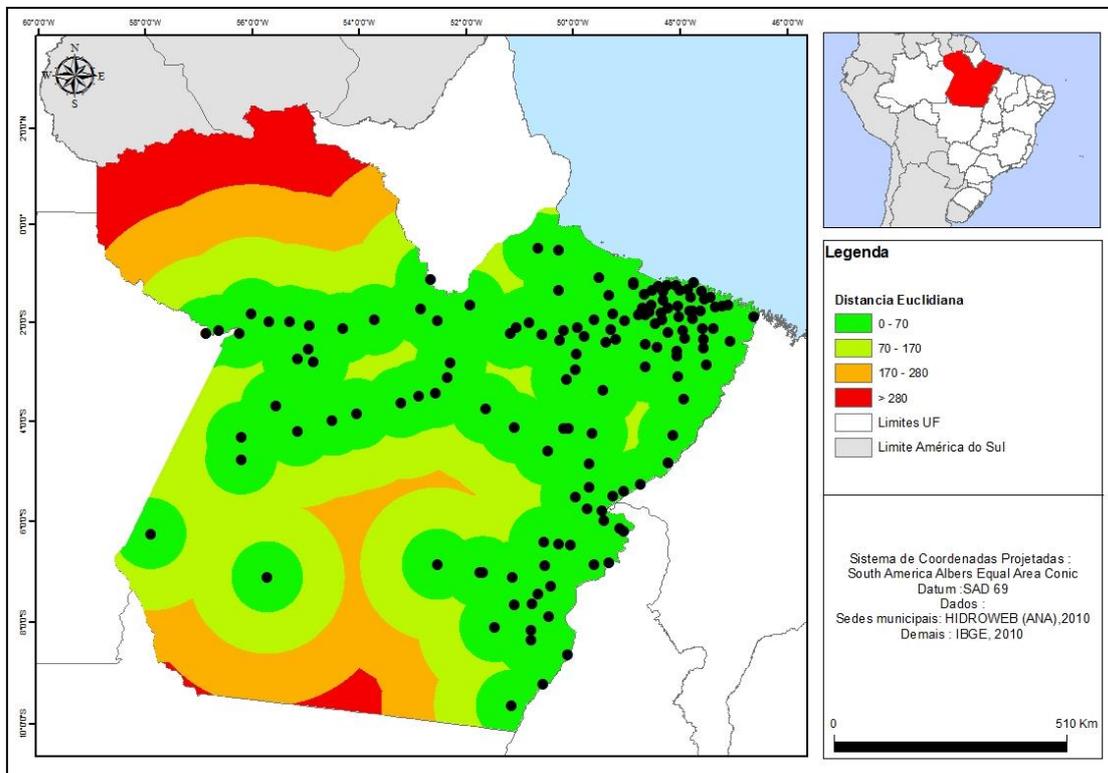


Figura 6. Mapa da variável estática de distância de sede municipais do Estado do Pará.

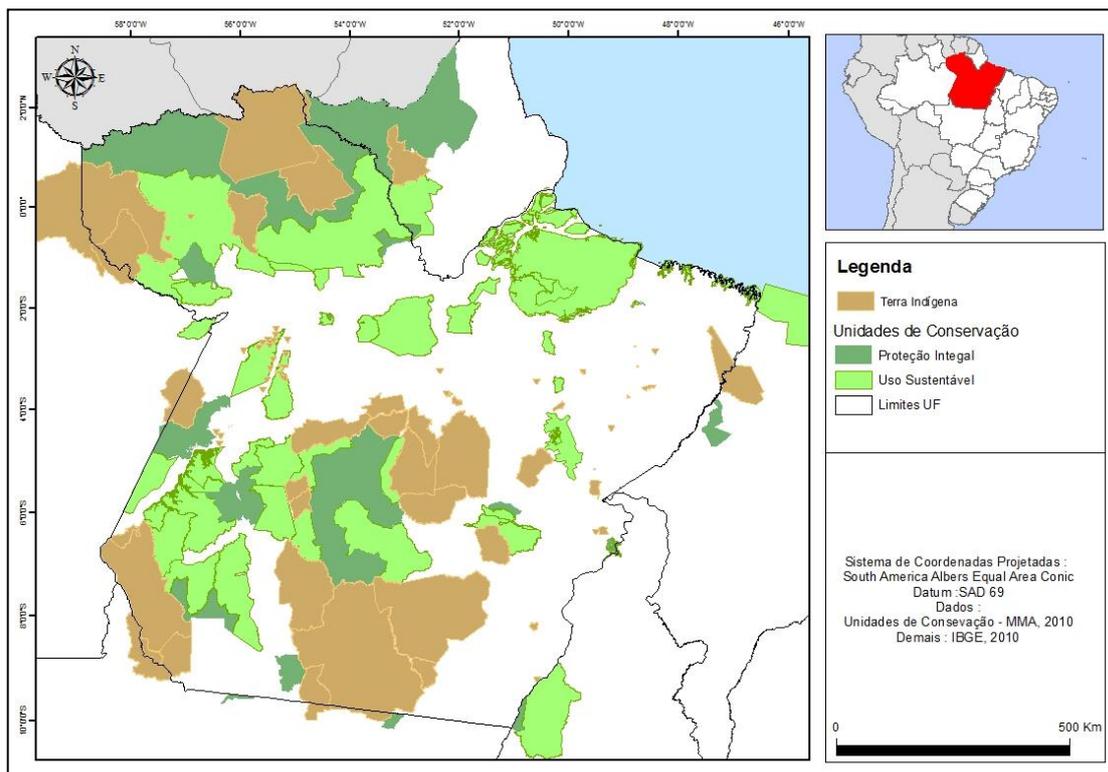


Figura 7. Mapa da variável categórica Áreas Protegidas do Estado do Pará.

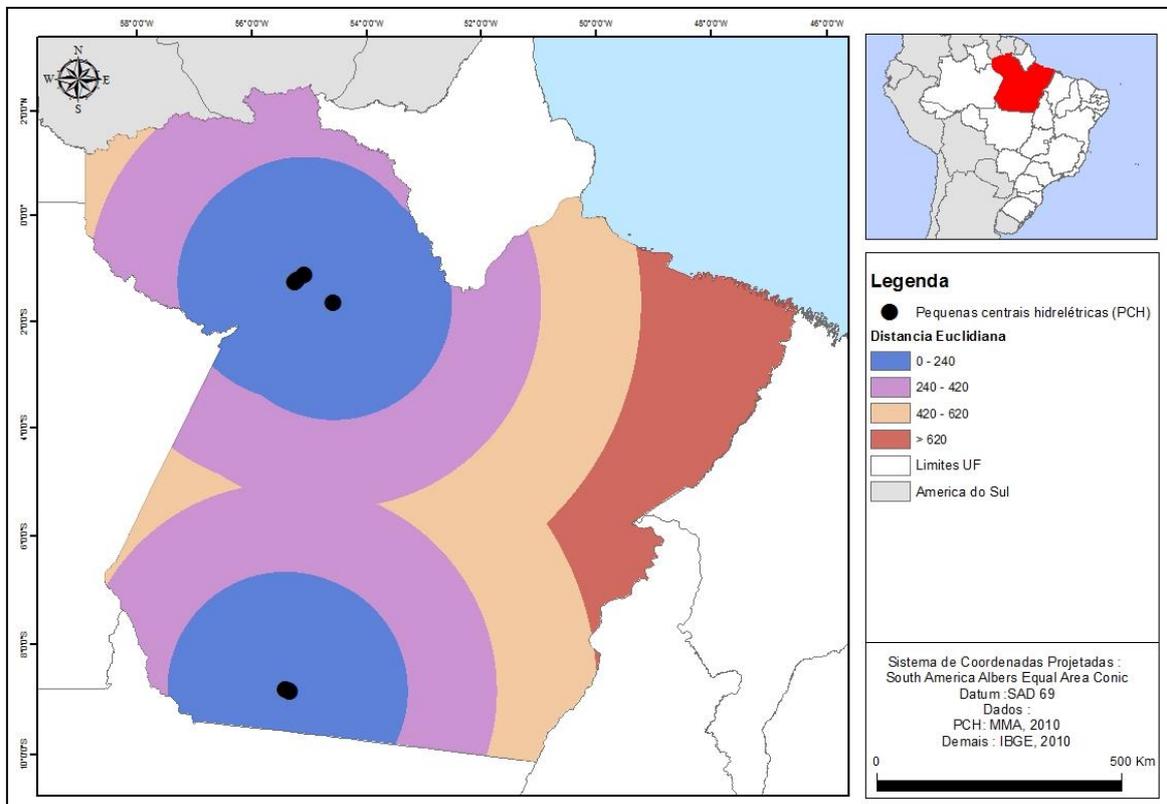


Figura 8. : Mapa da variável distância às Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) do Estado do

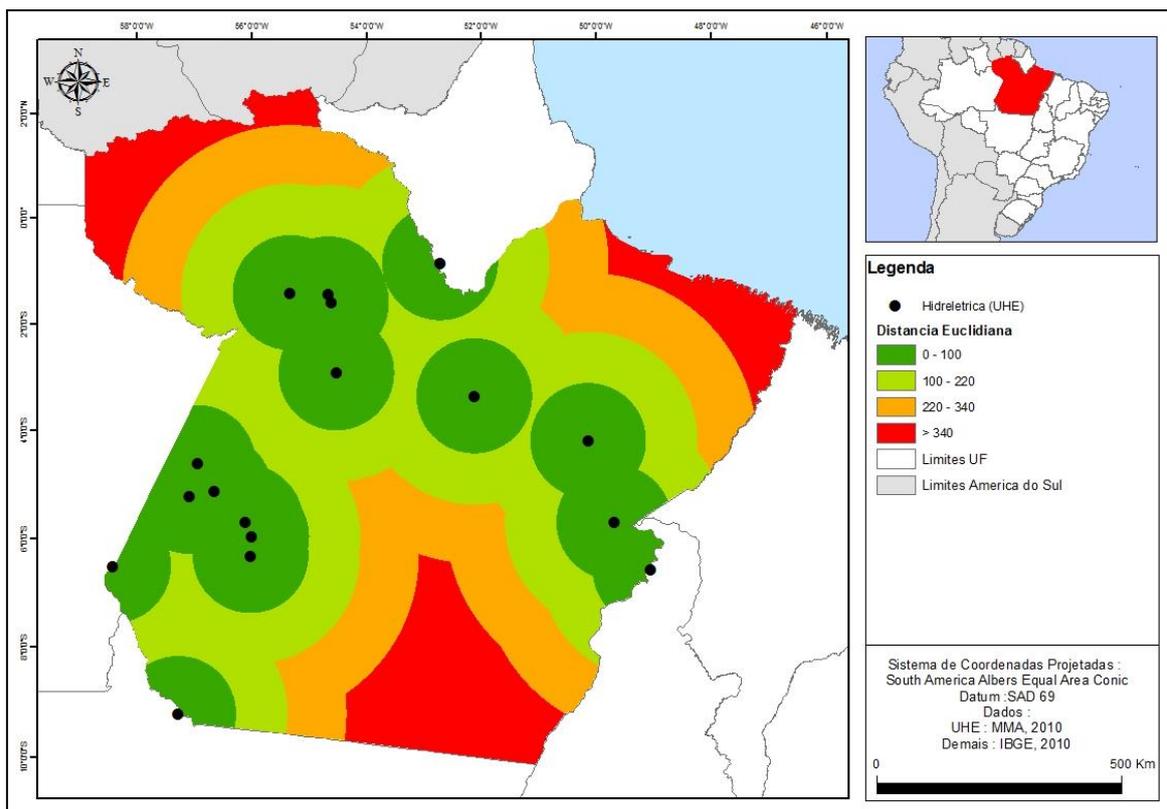


Figura 9. Mapa da variável estática de distância às Usinas Hidrelétricas (UHE's) do Estado do

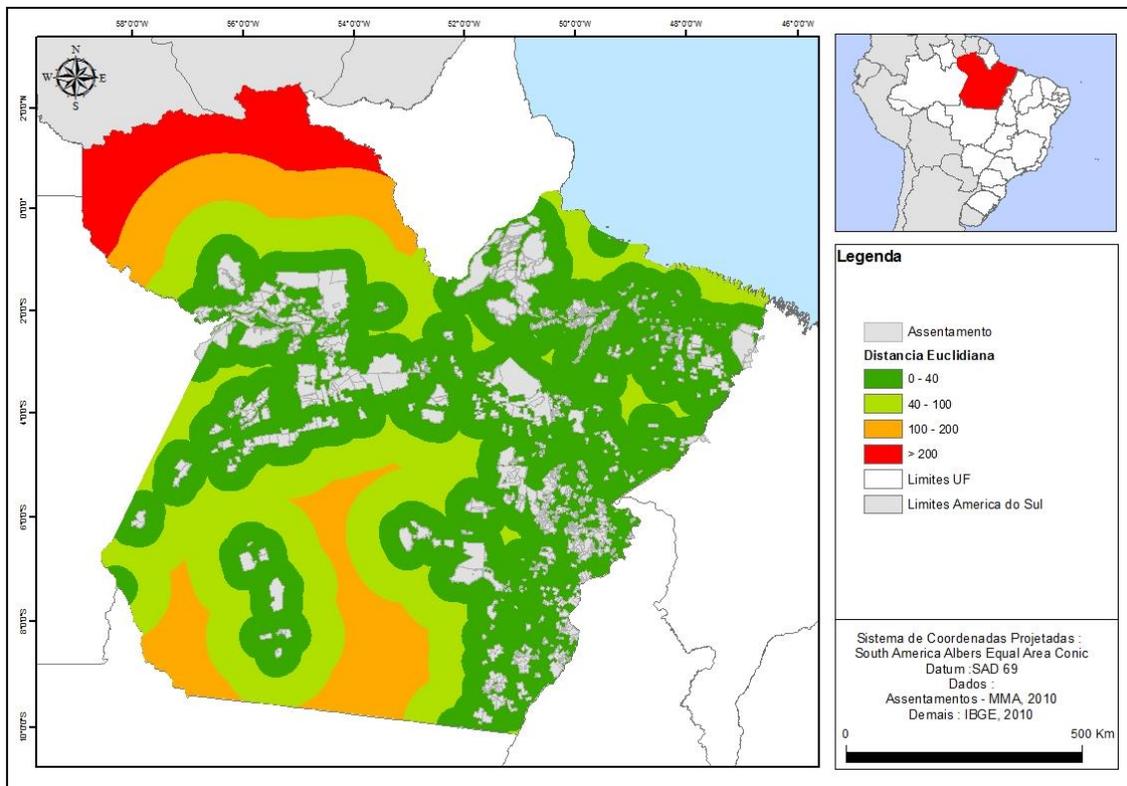


Figura 10. Mapa da variável estática de distância à assentamentos agrários do Estado do Pará.

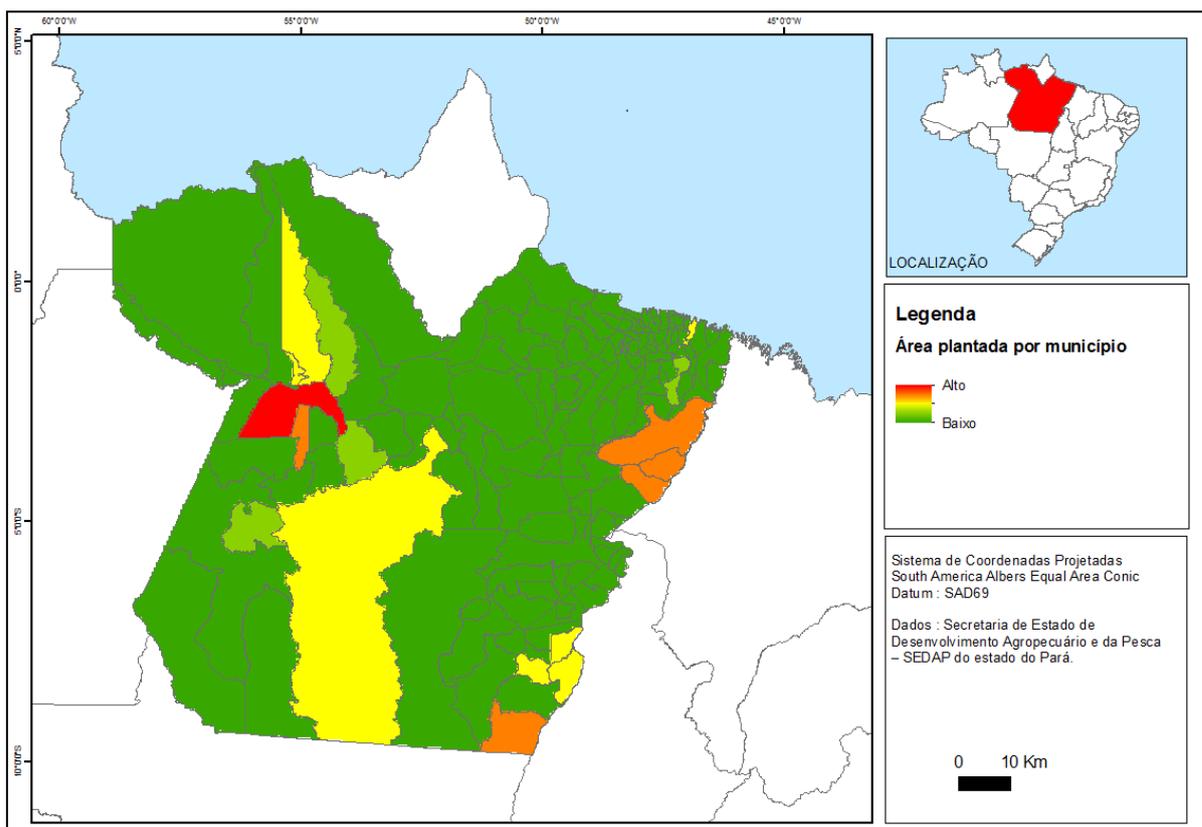


Figura 11. Mapa da variável área plantada de soja do Estado do Pará (cenário 1).

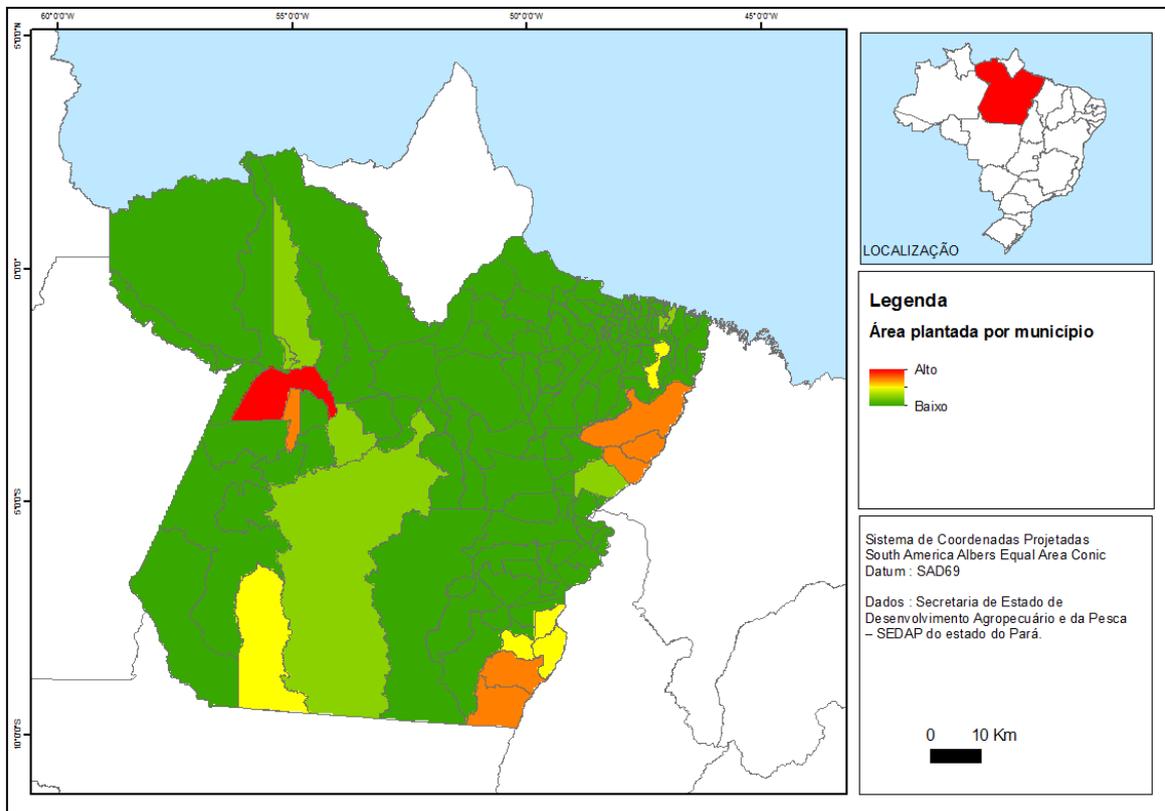


Figura 12. Mapa da variável área plantada de soja do Estado do Pará (cenário 2).

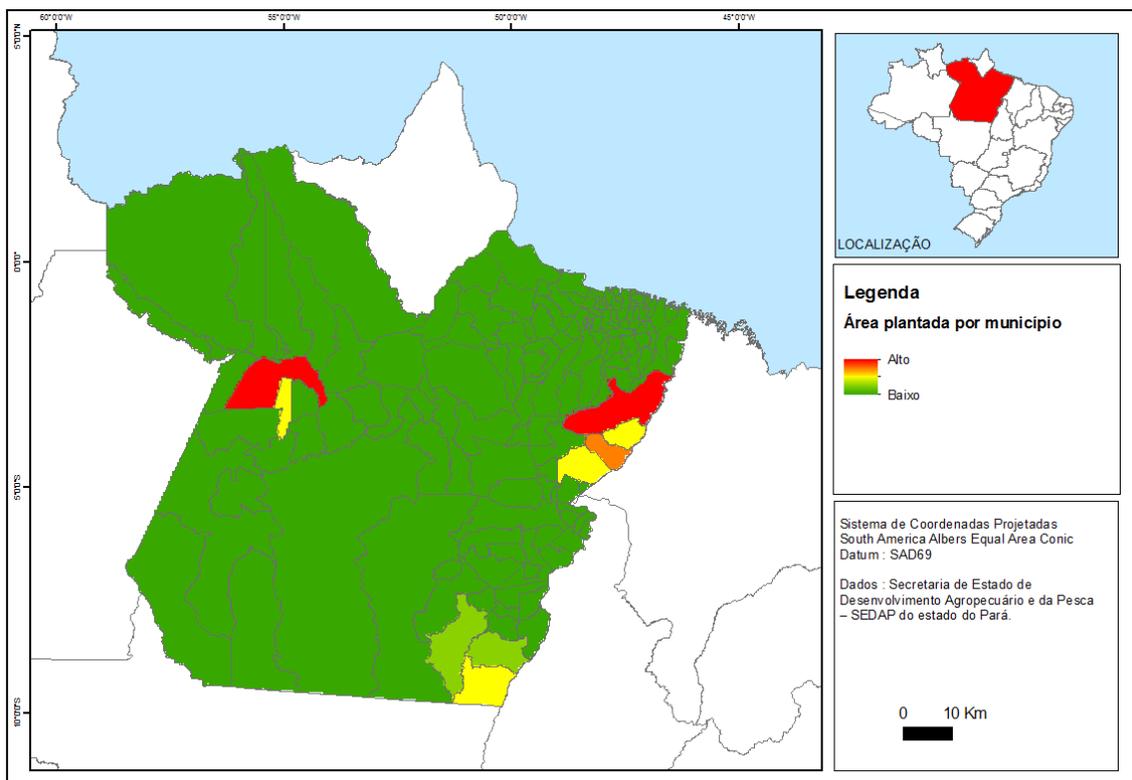


Figura 13. Mapa da variável área plantada de soja municipal (cenário 3).

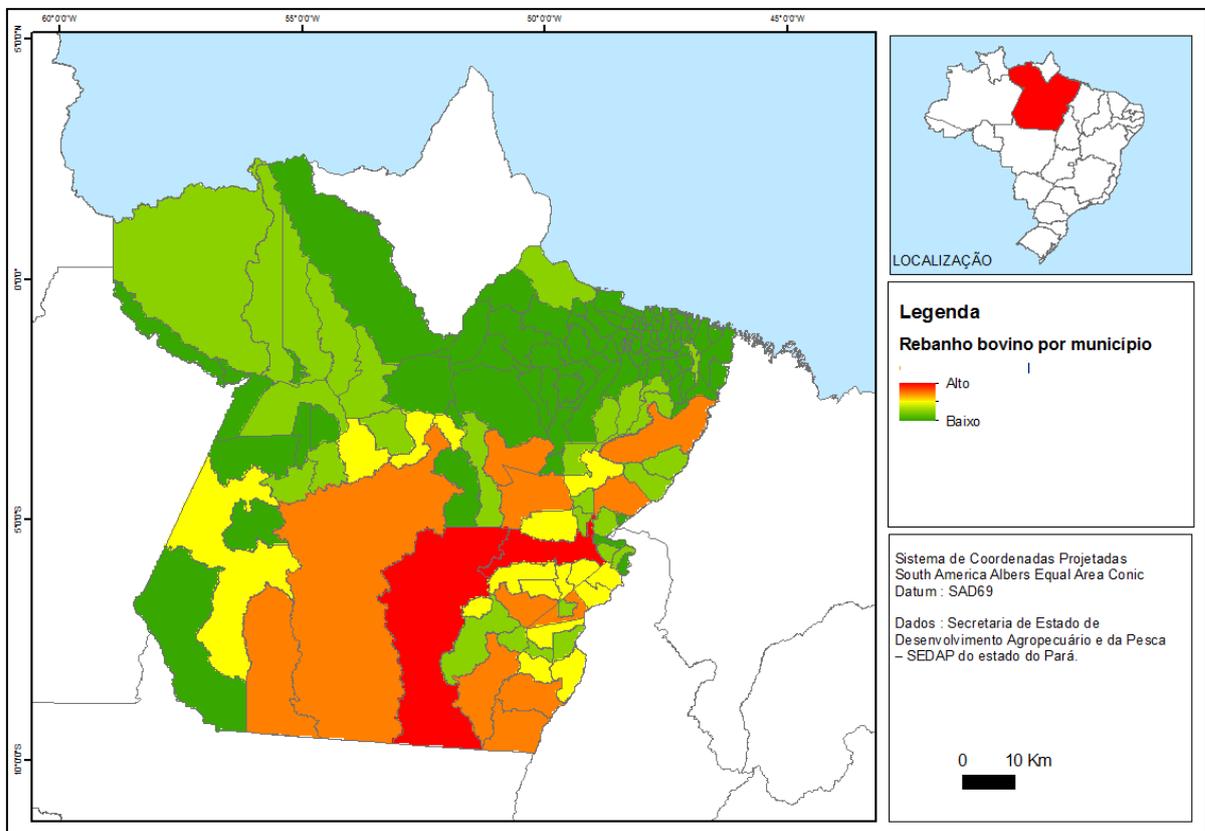


Figura 14. Mapa da variável de rebanho bovino municipal do Pará (cenário 2).

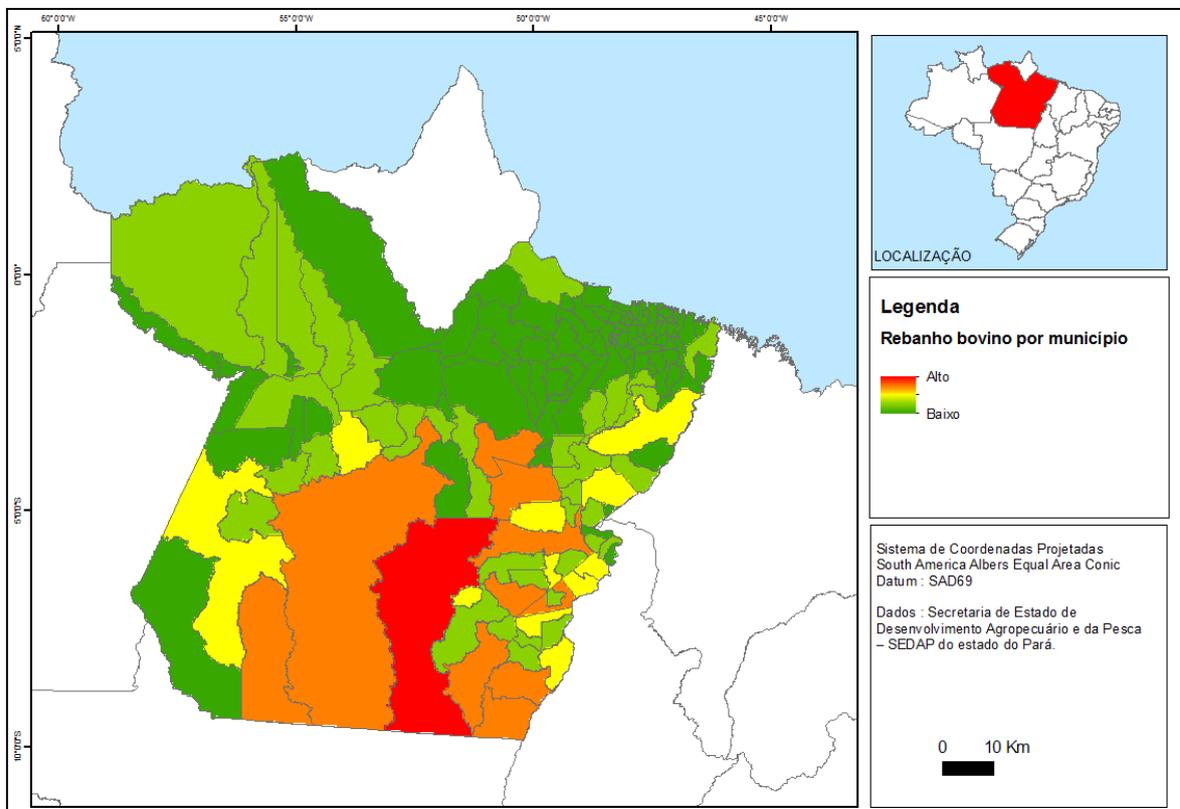


Figura 16. Mapa da variável de rebanho bovino municipal do Pará (cenário 3).

3. SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS FUTUROS USANDO O PROGRAMA DINAMICA EGO

Existem diferentes ferramentas que suportam o desenvolvimento de modelos de uso do solo. Entre as mais utilizadas, é possível citar a plataforma Dinamica EGO, ArcGIS (extensão Land change modeler), Idrisi e PCRaster. Uma comparação direta entre essas ferramentas não é possível devido ao uso de diferentes algoritmos para realizar as simulações. O Land Change Modeler (ArcGIS) é um modelo de simulação de mudança de uso da terra, previamente elaborado, que é apresentado ao usuário na forma de abas onde são solicitados valores para parametrizar o modelo. A ferramenta é amigável e permite que o usuário final, não necessariamente um especialista em modelagem, possa operar o modelo com facilidade. Como desvantagem, não é possível fazer ajustes estruturais, apenas a alteração dos parâmetros disponibilizados pelo software. Dessa forma, os processos e estruturas do modelo são invisíveis ao usuário (LIMA et al., 2013).

O software DINAMICA EGO é uma plataforma versátil de modelagem, que permite a criação e execução de modelos para diversos fins (paisagem, hídrico, econômico etc). A plataforma conta com interface gráfica e permite o usuário utilizar diversos operadores e criar a própria estrutura do modelo. Dessa forma para utilizar essa ferramenta é necessário que o usuário tenha conhecimento prévio de modelagem, ampliando o uso e adaptando-o às necessidades do objeto de estudo (LIMA et al., 2013).

A presente pesquisa utilizou o programa de modelagem DINAMICA EGO (versão 3.0.17) de domínio público desenvolvido pelo Centro de Sensoriamento Remoto da Universidade Federal de Minas Gerais. O programa de modelagem DINAMICA diferencia-se de outros por ter uma forma intuitiva para a construção dos modelos (fluxo de dados, com objetos orientados à programação), agilidade de processamento, e ser baseado no modelo estocástico de autômatos celulares (SOARES-FILHO et al., 2001 a 2002). Em linhas gerais, o conceito de autômatos celulares consiste na ideia de que em um arranjo n – dimensional de células, cada célula apresenta uma probabilidade de passar de um “estado 2” (representando a floresta) para um “estado 1” (representando o desmatamento) na paisagem, de acordo com a sua condição prévia e do arranjo espacial das células vizinhas, seguindo um conjunto de regras de transição (SOARES-FILHO et al., 2003). Este comportamento aleatório das células representa o conceito dinâmico da paisagem.

A obtenção de cenários no programa DINAMICA EGO adotou cinco passos baseando-se no guia do DINAMICA EGO (SOARES-FILHO, 2017): (a) geração das matrizes de transição; (b) calibração do modelo; (c) criação e aplicação do modelo de simulação; (d) validação do modelo, e (e) geração de cenários futuros. Cada etapa produz um resultado que funciona como um dado de entrada das etapas seguintes da modelagem.

3.1. Geração da matriz de transição

A matriz de transição compreende o processo de estimativa das taxas de transição ou mudanças na paisagem ocorridas entre o ano inicial e final do período de estudo (PIONTEKOWSKI, 2014). No presente estudo, as taxas de transição corresponderam as taxas de desmatamento nos períodos de interesse, que são utilizadas para estimar o desmatamento dos anos futuros. Para a estimativa das taxas de transição utilizou-se a ferramenta *Determine Transition Matrix* do Dinamica Ego, que permite estimar as taxas: “Single Step” relativo ao período total de análise (global) e “Multi Step” em um intervalo de tempo de análise (anual) (SOARES-FILHO et al., 2009).

3.2. Calibração do modelo

No processo de calibração do modelo foram estimadas as faixas de distância para as variáveis estáticas contínuas e seus respectivos pesos (PIONTEKOWSKI, 2014). As variáveis dinâmicas e estáticas contínuas requerem parâmetros de classificação definidos como: incremento mínimo, que no caso de mapas de distância são equivalentes à resolução das células (100 metros); os deltas máximos e mínimos; e ângulos de tolerância, que medem o ângulo de desvio a partir de uma reta (SOARES-FILHO et al., 2009). A estimativa das variáveis estáticas contínuas (declividade, efetivo bovino e área plantada de soja) utilizam as imagens classificadas em faixas de interesse. As variáveis estáticas categóricas utilizam um peso de evidência específico para cada categoria no mapa. Esses pesos de evidências determinam a favorabilidade e a restrição do uso de novas áreas.

3.3. Criar e executar o modelo de simulação do desmatamento

Nessa etapa, o DINAMICA EGO recebeu como entrada: a matriz de transição “*Multi Step*”, pesos de evidência calculados, o mapa de uso e cobertura do solo inicial e os mapas de variáveis estáticas. O DINAMICA EGO utiliza como regra o modelo de autômatos celulares composto por dois mecanismos de transição complementares, o *Expander* e o *Patcher*, cuja função é reproduzir os padrões espaciais de mudança. O *Expander* se dedica exclusivamente à expansão ou redução de fragmentos de uma classe (nesse caso do desmatamento). O *Patcher* se incumbem de gerar os novos fragmentos por um mecanismo de semeadura, procurando por células próximas à região selecionada para uma transição conjunta (SOARES-FILHO, 2017) . O processo é iniciado ao selecionar a célula matriz para novos fragmentos e assim selecionar um número específico de células próximas à célula matriz de acordo com a probabilidade de transição P_{ij} .

A isometria do *Patcher* varia de 0 a 2. Assim o fragmento assume uma forma mais regular à medida que seu valor aumenta. O tamanho dos novos fragmentos é definido de acordo com uma distribuição probabilística log – normal resultante do produto de diversas variáveis independentes. Dessa forma, é necessário especificar os parâmetros da distribuição representados pela média e variância dos tamanhos dos fragmentos a serem formados.

Nesse trabalho o percentual de transição definido para o *Expander* e *Patcher* foi de 35%, com média de 6,25 ha, variância de 12,5 ha e isometria de 1,5. Esses valores foram definidos com base em testes que buscam o mapa de simulação mais próximo ao mapa de desmatamento que se quer simular. Como resultados dessa etapa além do mapa simulado para os anos de 2004 (cenário 1), 2009 (cenário 2) e 2014 (cenário 3), é gerado também o mapa de probabilidade para os respectivos anos, indicando as áreas mais susceptíveis a serem desmatadas com base nos pesos de evidências dos mapas de variáveis.

3.4. Validação do modelo

Modelos espaciais necessitam ser comparados dentro de um contexto de vizinhança uma vez que até mapas que não coincidiram exatamente célula – a – célula ainda podem apresentar padrões espaciais semelhantes e, assim

apresentarem semelhanças espaciais dentro de sua vizinhança (SOARES-FILHO, 2017). O processo de validação consiste em verificar a similaridade entre o mapa simulado e um mapa de referência. Para a validação foi utilizado o método de similaridade de *Fuzzy* em um contexto de vizinhança local, que utiliza uma função de decaimento constante com janelas de tamanhos variáveis de 1x1 a 13x13 pixels (SOARES-FILHO, 2009). Nessa etapa, o modelo recebe como entrada os mapas de uso inicial e final e o mapa de uso final simulado. Como os mapas simulados herdaram padrões espaciais do mapa de uso inicial é inserido um submodelo de similaridades para remover essa herança e avaliar a adequação espacial entre os mapas de mudanças.

3.5. Obtenção de cenários futuros

Para obtenção das tendências de desmatamento no Estado do Pará foi analisado o período de 2000–2014 dividido em três cenários a partir de diferentes intervalos de tempo dos dados do PRODES: cenário 1 (período 2000-2004), cenário 2 (período 2005–2009) e cenário 3 (período 2010 – 2014). Os cenários têm como objetivo reproduzir condições políticas e econômicas que influenciaram a taxas de desmatamento para o período em análise como criação de programas de controle de desmatamento, criação/redução de UC's, altas nos valores de commodities etc.

Segundo Dalla–Nora (2014), o período de 2000–2012 pode ser usado para calibrar modelos de desmatamento que visem captar novas tendências uma vez que o período contou com diversas ações que intensificaram o controle do desmatamento representando uma importante estratégia no combate à esse fenômeno além de apresentar padrões de desenvolvimento (grandes obras de infraestrutura) e ocupação da Amazônia que rompem com os padrões adotados nas décadas de 1970–1980 e que na atualidade são improváveis de serem reestabelecidos. Nos três cenários de desmatamento do Estado do Pará, adotou-se a projeção até o ano de 2030.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. RESULTADOS DOS PARÂMETROS DE ENTRADA DO MODELO

Inicialmente, obteve-se a matriz de transição global (single step) e anual (multi step) para os períodos de 2000–2004, 2005–2009 e 2010–2014. Nos cenários, foram analisadas as transições de floresta (classe 2) para áreas desmatadas (classe 1). As taxas indicam o percentual de floresta convertido em desmatamento por unidade de tempo, sendo de 4 anos para “single step” e de 1 ano para o “multi step”. Assim, nesse período a transição global de desmatamento foi para o cenário 1 uma taxa de 10% ao ano, no cenário 2 uma taxa de 15 %, e cenário 3 uma taxa de 15,3 % para o período (Tabela 3). Enquanto, a transição anual (Tabela 4) de desmatamento apresentou para o cenário 1 (2,5 %), cenário 2 (5 %) e cenário 3 (4,3 %).

Tabela 2. Matrizes de transição global de desmatamento para os três cenários (1, 2 e 3).

Cenário 1	
DE/PARA	1
2	0,10

Cenário 2	
DE/PARA	1
2	0,15

Cenário 3	
DE/PARA	1
2	0,153

Tabela 3. Matrizes de transição anual de desmatamento para os três cenários avaliados (1, 2 e 3).

Cenário 1	
DE/PARA	1
2	0,025

Cenário 2	
DE/PARA	1
2	0,05

Cenário 3	
DE/PARA	1
2	0,043

Nessa etapa, o DINAMICA EGO sobrepõe a taxa de transição repetidas vezes sobre a variável estoque, aqui representada pela extensão da floresta restante. Em seguida, a matriz de transição é passada para o modelo de simulação buscando contar no mapa de uso a quantidade de células a serem convertidas.

O passo seguinte é o cálculo dos pesos de evidência baseado no método Bayesiano que calcula a correlação para o par de variáveis estáticas e/ou categóricas utilizadas. Os pesos de evidências representam a influência individual da variável no mapa de probabilidade restringindo ou favorecendo a transição de uso no período. A tabela 5 apresenta os resultados das estimativas dos pesos de evidência para o mapa da variável “distância de áreas desmatadas” no período de 2000 – 2004.

Tabela 4. Pesos de evidência para as faixas de distância da variável dinâmica “distância das áreas desmatadas” (Cenário 1).

Ranges	Possible Transitions	Executed Transitions	Weight Coefficient	Contrast	Significant
0<=v<1500	325	116	1,61	1,86	sim
1500<=v<21000	205	57	1,25	1,35	sim
21000<=v<33250	400	91	0,98	1,13	sim
33250<=v<47000	355	63	0,67	0,74	sim
47000<=v<53500	146	17	0,17	0,18	não
53500<=v<59500	63	4	-0,48	-0,49	não
59500<=v<61250	112	10	-0,11	-0,11	não
61250<=v<63000	52	2	-1	-1	não

A coluna “*Range*” representa as diferentes faixas ou categorias. A coluna *Possible Transitions* mostra os tamanhos das faixas ou categorias em células. A coluna *Executed Transitions* mostra o número de transições ocorridas dentro de cada faixa ou categoria. A coluna *Weight Coefficient* mostra os coeficientes dos pesos de evidência obtidos. A coluna *Contrast* é a medida do contraste que mede o efeito de associação/repulsão, nessa coluna quanto mais próximo de zero forem os valores, menores serão os efeitos e quanto maiores forem os valores, maior será a atração. Por outro lado, se os valores forem maiores e negativos, maior será a repulsão. Na coluna *Significant* é indicado se existe ou não significância estatística para a transição.

O comportamento do peso de evidência (Weight Coefficient) indica se uma determinada célula que compõe a matriz de estudo é ou não favorável à transição ao uso da terra. Os valores positivos indicam que a célula é favorável e os valores negativos indicam que a célula é desfavorável à ocorrência de transição ao uso da terra (desmatamento).

Estabelecidos os pesos (weights evidence e weights coefficients) deve-se avaliar a correlação entre os mapas das variáveis estáticas e categóricas. No cálculo dos pesos de evidência deve-se garantir a independência espacial dos mapas das variáveis estáticas e categóricas (SOARES-FILHO, 2017). Para analisar a correlação são aplicados diversos testes, como qui-quadrado, Cramer, incerteza do par de variáveis etc. A Tabela 5 apresenta os testes para o par de variáveis analisadas. Os testes para os três cenários apresentaram alta correlação do mapa estático de distância às PCH's e UHE's com as demais variáveis, sendo assim excluído para garantir a premissa de independência entre as variáveis.

Tabela 5. Análise de testes para análise de correlação de mapas (Cenário 1).

DE	PARA	Primeira variável	Segunda variável	Quiquadrado	Crammer	Contingency	Joint_Entropy	Joint_Uncertainty
2	1	pch_uhe	rod_proj	122237.7	0.25	0.97	8.60	0.49
2	1	rebanho bovino	area plantada	40536.6	0.85	0.93	3.51	0.44
2	1	assentamento	Sede municipal	59306.4	0.23	0.95	6.52	0.39
2	1	assentamento	pch_uhe	75618.58	0.26	0.96	8.25	0.38
2	1	pch_uhe	Sede municipal	82676.20	0.26	0.96	7.92	0.36

4.2. SIMULAÇÃO E VALIDAÇÃO

Na simulação e validação foram utilizados como dados de entradas os mapas de uso do solo para os períodos de cada cenário: 2000–2004 (cenário 1); 2005–2009 (cenário 2); e 2010–2014 (cenário 3). Os produtos finais são os mapas

de probabilidade (**Figuras 17, 19 e 21**) e os mapas de uso simulado (**Figuras 18, 20 e 22**) para os anos de 2004, 2009 e 2014. Nos mapas de probabilidade, a escala de cores mostra nos tons de amarelo a vermelho as áreas com altas probabilidades de transição e em tons de azul as áreas com baixa probabilidade de transição.

Os mapas de uso simulados para os anos de 2004, 2009 e 2014 evidenciam os desmatamentos observados nos respectivos períodos, que foram utilizados na elaboração dos mapas simulados como base para validação. Como teste quantitativo para avaliar a similaridade entre os mapas observados e simulados utilizou-se o índice de Fuzzy. O índice de similaridade de Fuzzy tem como base a matriz de confusão onde a coincidência não é restrita a um rigoroso padrão de sobreposição célula–a–célula pois inclui também células vizinhas (HAGEN, 2003). As comparações são realizadas aplicando a matriz de confusão aos mapas de uso final simulado e observado. Como mapas simulados com pequenas áreas desmatadas dispersas tendem a marcar mais alto, o valor de ajuste mínimo da comparação bidirecional é usado para obter uma avaliação conservadora do modelo (SOARES-FILHO, 2017).

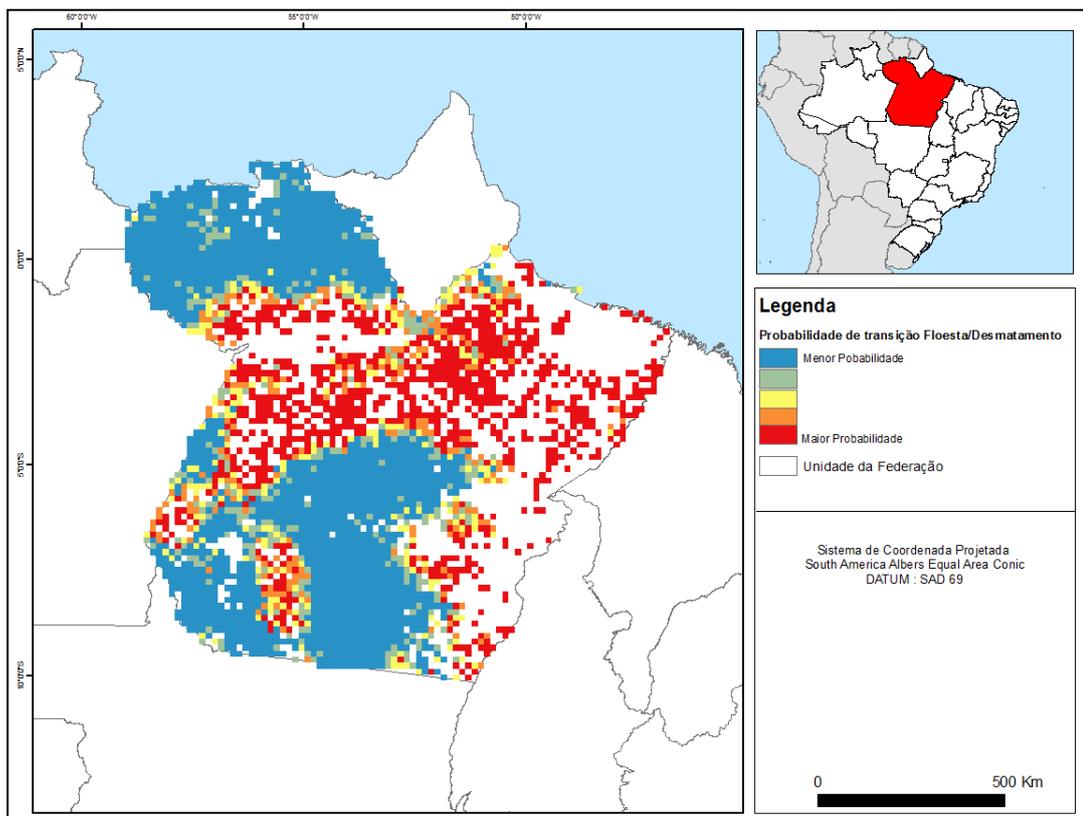


Figura 17. Mapa de probabilidade de transição de floresta/desmatamento considerando o cenário 1 para o Estado do Pará.

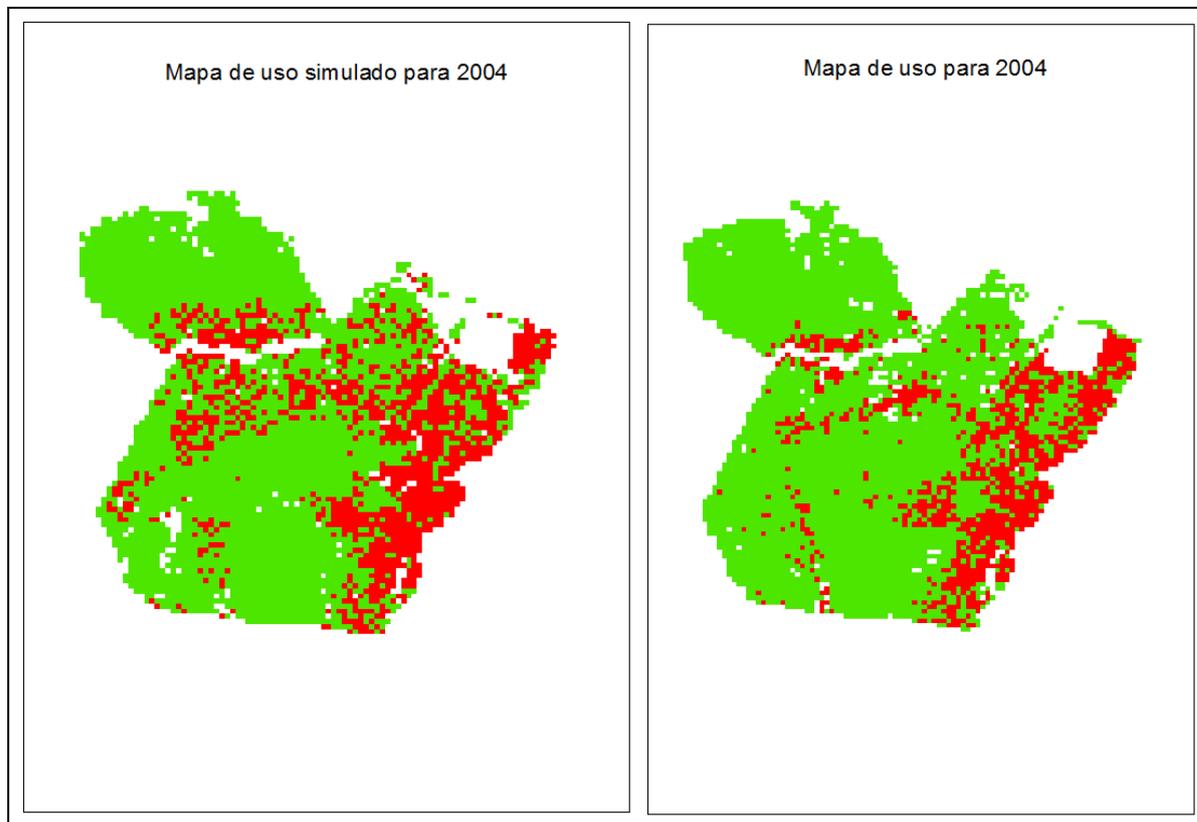


Figura 18. Mapa de uso obtido na simulação para 2004 e mapa de uso de 2004 obtido pelo PRODES

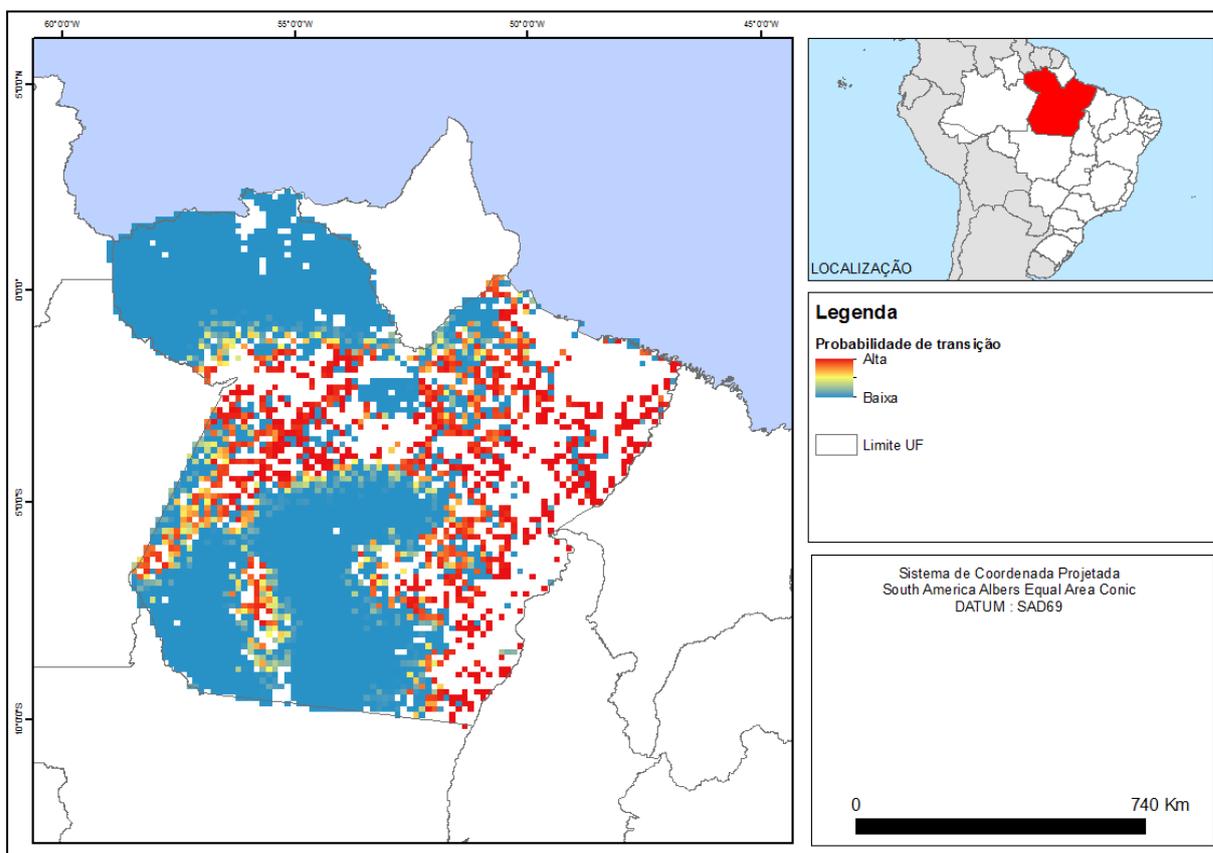


Figura 19. Mapa de probabilidade de transição de floresta/desmatamento considerando o cenário 2 para o Estado do Pará.

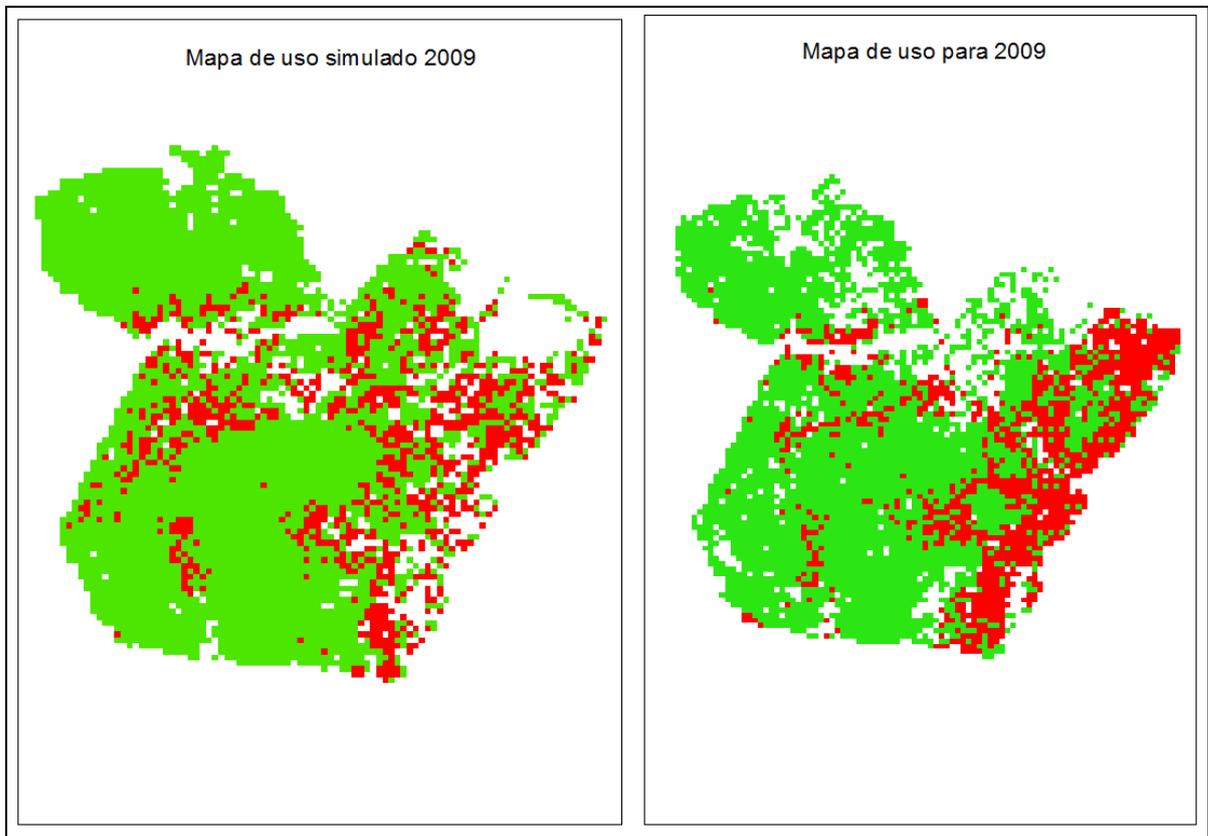


Figura 20. Mapa de uso obtido na simulação para 2009 e mapa de uso de 2009 obtido pelo PRODES

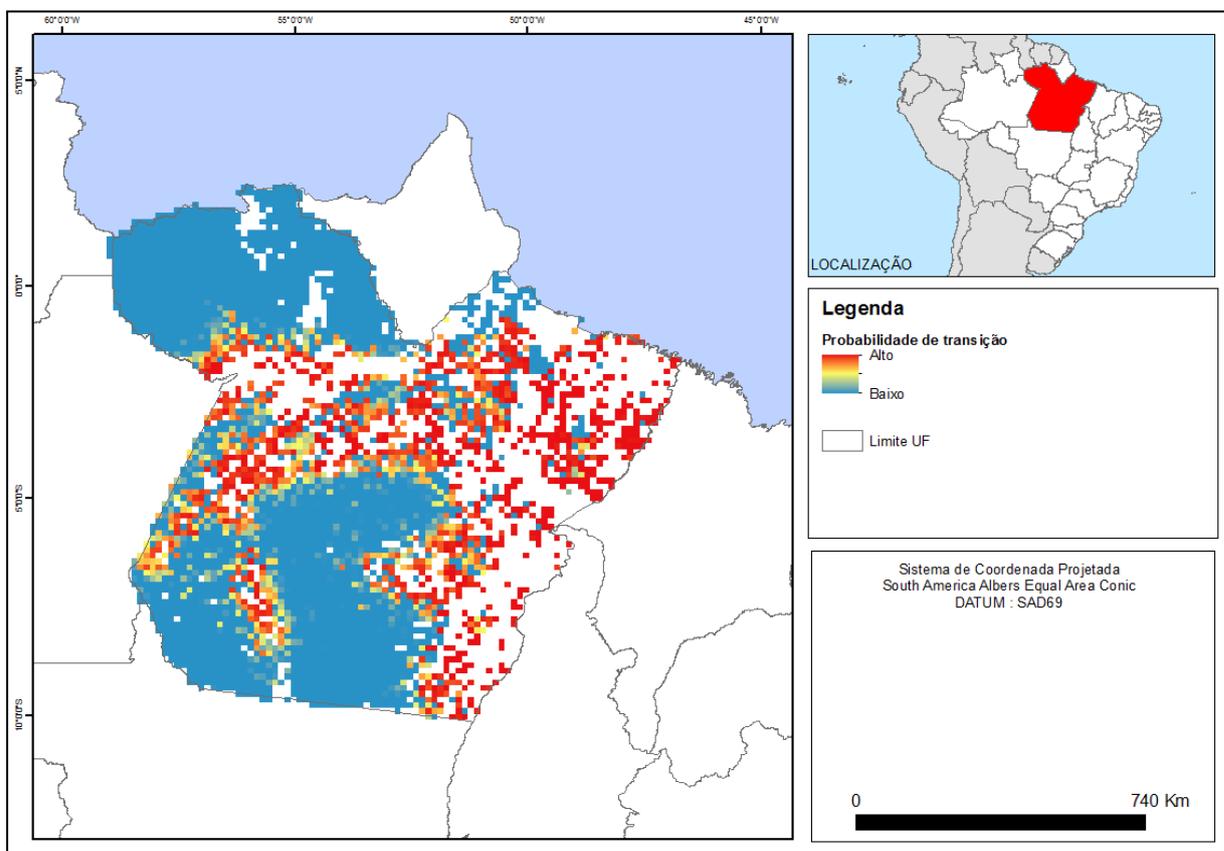


Figura 21. Mapa de probabilidade de transição de floresta/desmatamento considerando o cenário 3 para o Estado do Pará.

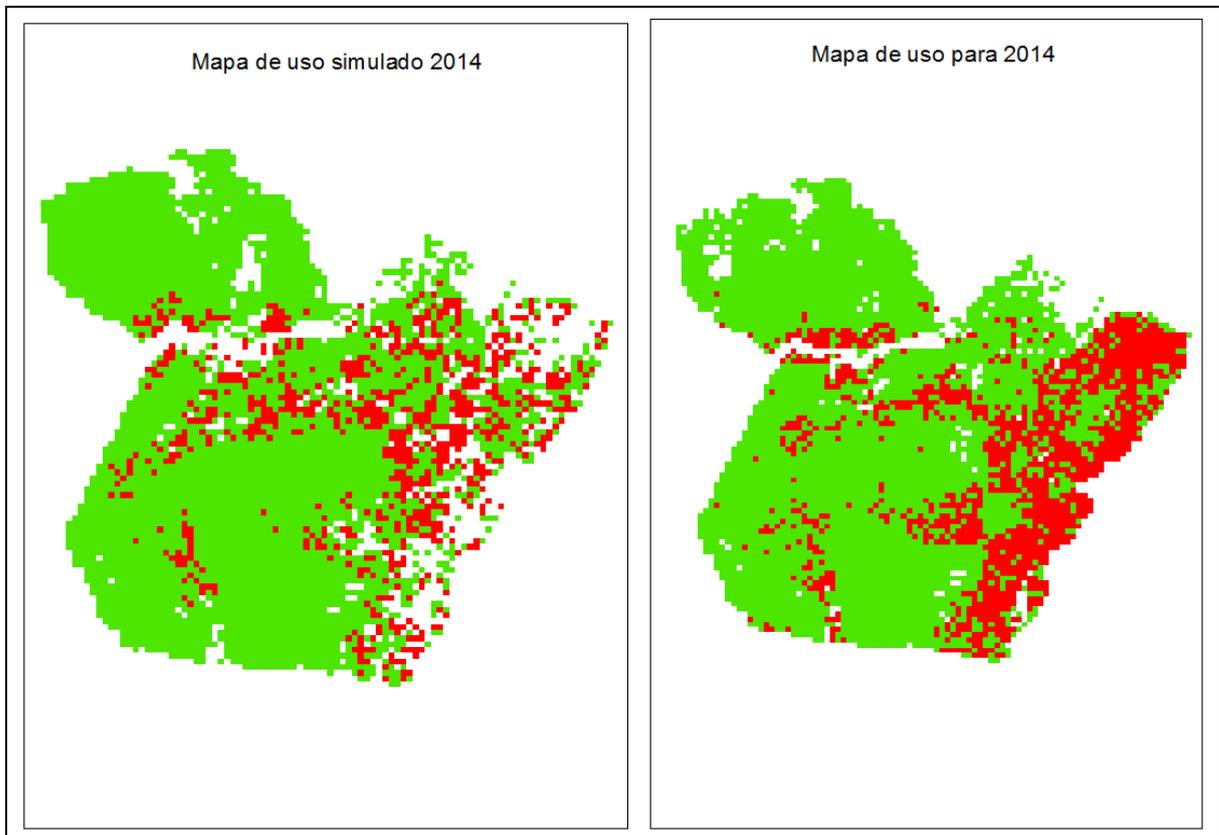


Figura 22. Mapa de uso obtido na simulação para 2009 e mapa de uso de 2009 obtido pelo PRODES

As figuras 23, 24 e 25 apresentam os índices de similaridade Fuzzy para os diferentes tamanhos de janelas. Na janela 5x5, obteve-se uma similaridade em 57% das células no cenário 1, 87% no cenário 2 e 91 % no cenário 3. Segundo Barni (2009), valores acima de 50% para janelas 5x5 indicam resultados satisfatórios, desde que, os padrões de distribuição espacial do fenômeno em estudo (nesse caso, o desmatamento) sejam similares no mapa observado e simulado.

Segundo Piontekowski (2014), o índice de similaridade Fuzzy com função de decaimento constante tende a aumentar à medida que o tamanho da janela aumenta. Para determinadas resoluções, o aumento dos valores do índice de similaridade também tende a saturar (XIMENES et al., 2008).

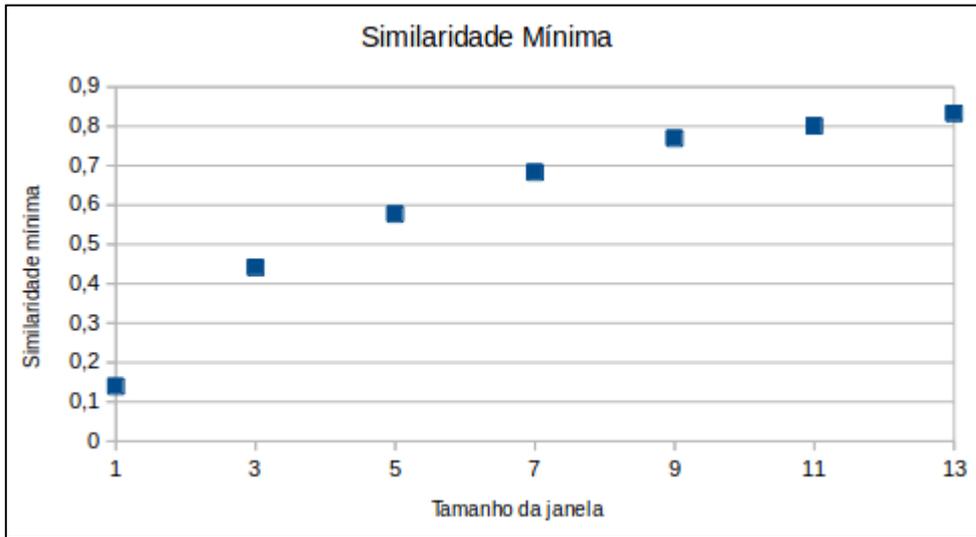


Figura 23. Índice de similaridade Fuzzy para o cenário 1 com diferentes tamanhos de janela

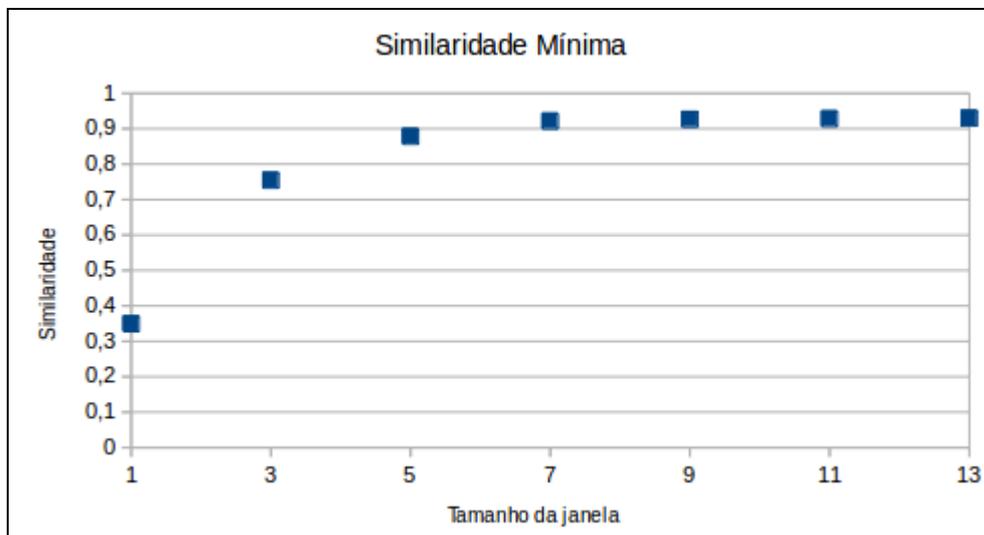


Figura 24. Índice de similaridade Fuzzy para o cenário 2 com diferentes tamanhos de janela

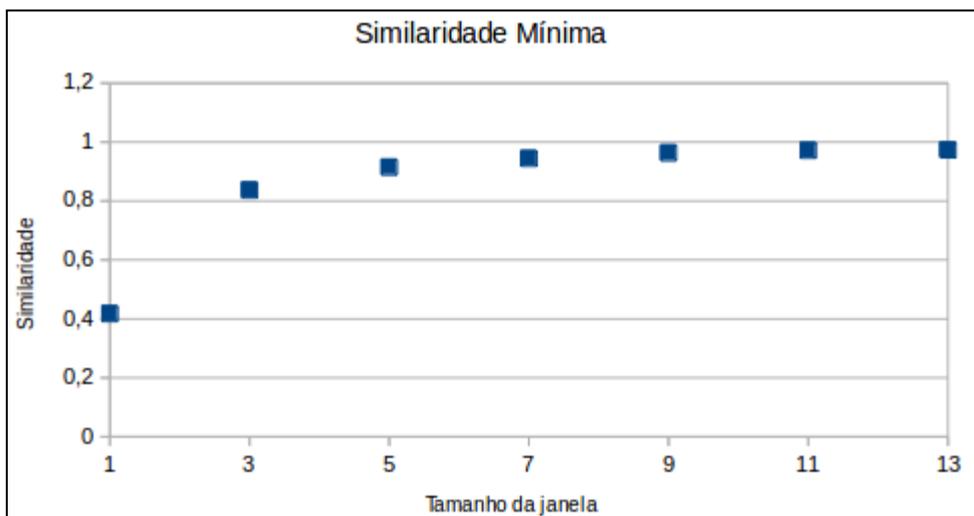


Figura 25. Índice de similaridade Fuzzy para o cenário 3 com diferentes tamanhos de janela

4.3. CENÁRIOS FUTUROS SIMULADOS

Os modelos de simulação podem ser considerados como um dispositivo heurístico útil para avaliar, de curto a longo prazo, os resultados de uma variedade de cenários, traduzidos como diferentes quadros socioeconômicos, políticos e ambientais. Uma classe especial entre eles, modelos espacialmente explícitos simulam a dinâmica de um sistema ambiental, reproduzindo a forma como seus padrões espaciais evoluem, para projetar as prováveis conseqüências ecológicas e socioeconômicas da dinâmica do sistema (SOARES-FILHO, 2017). As **Figuras 20, 21 e 23** demonstram os três cenários para o desmatamento futuro no Pará até o ano de 2030. A área desmatada para o ano de 2030 foi de 689.160,37 Km² para o cenário 1, 754.960,88 Km² para o cenário 2 e 741.947,62 Km² para o cenário 3.

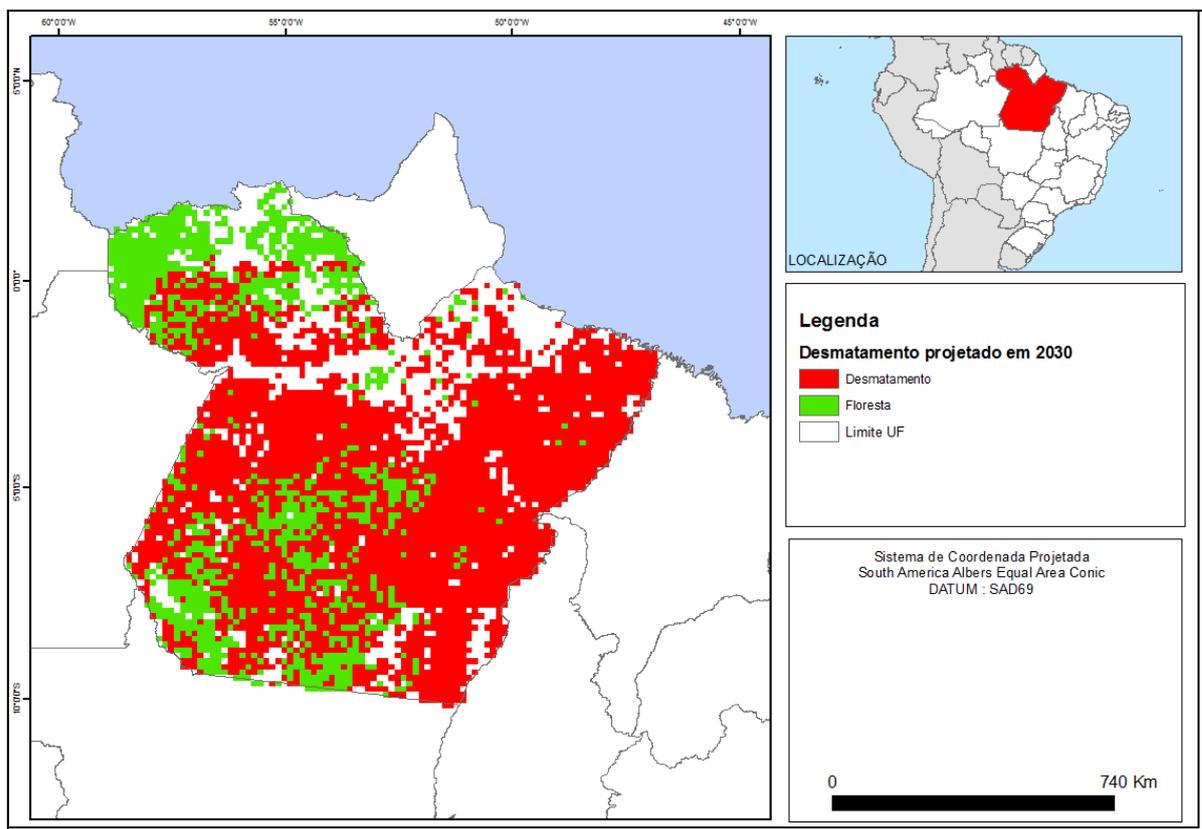


Figura 27. Mapa de uso projetado no cenário 2 para o ano de 2030.

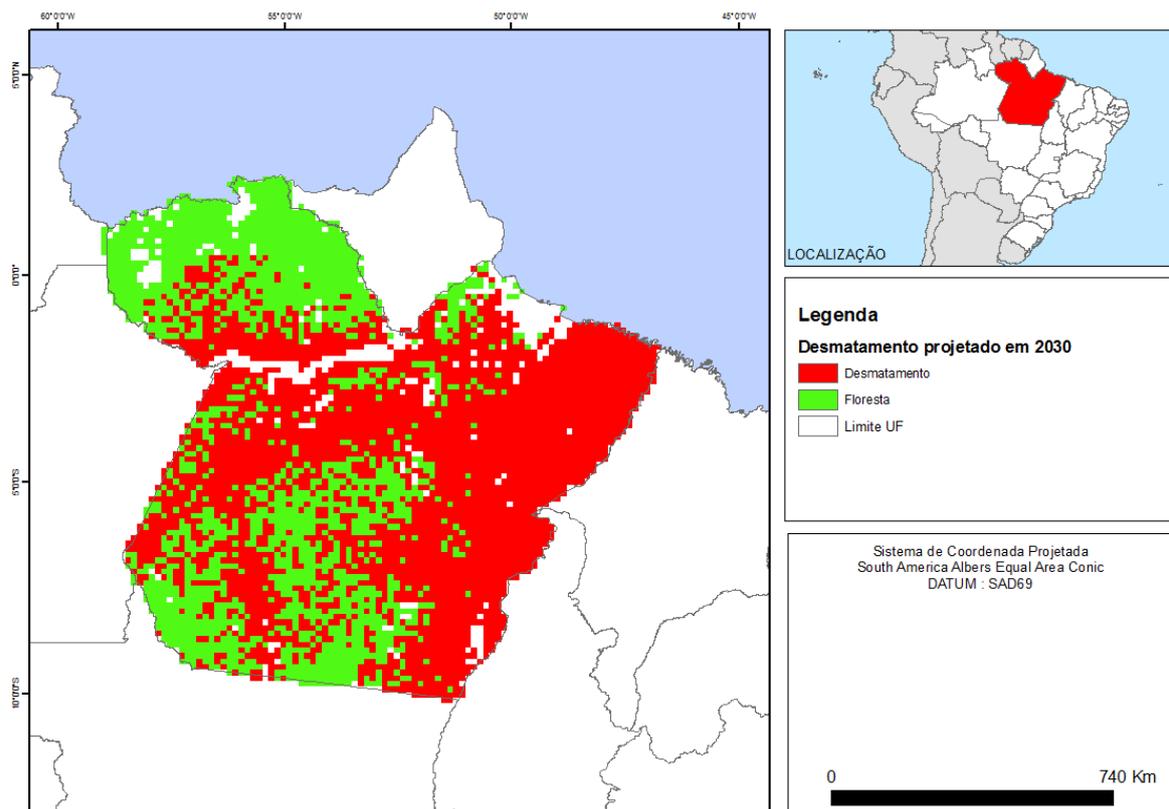


Figura 28. Mapa de uso projetado no cenário 3 para o ano de 2030.

Para os cenários avaliados é esperado que no contexto do cenário 1, o estado do Pará tenha desmatado em 2030, 689.160,37 Km². No contexto do cenário 2, espera-se que sejam desmatados até 2030, 754.960,88 Km². No contexto do cenário 3 até 2030, espera-se que sejam desmatados 741.947,62 Km². Com relação aos remanescentes florestais, observou-se que o cenário 1 em 2030 contará 480.877,7 Km² de floresta. No contexto do cenário 2, espera-se que o estado do Pará possua em 2030, 251.807,7 Km². No contexto do cenário 3 é esperado que em 2030 o estado do Pará conserve 442.979,22 Km² de floresta. Os resultados mostram que as Unidades de Conservação e Terras Indígenas por si só não serão capazes de conter o avanço do desmatamento (**Figura 26**).

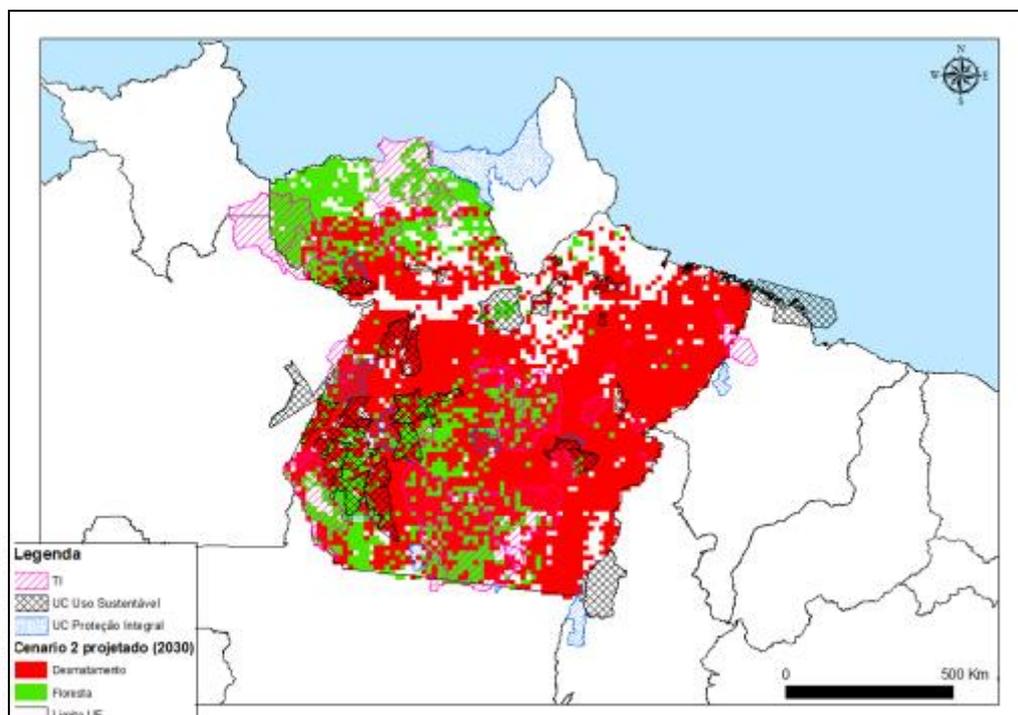


Figura 29. Classes de áreas protegidas combinadas ao Cenário 2 (desmatamento em 2030)

Criadas com o objetivo de proteger a floresta, as Unidades de Conservação (UCs) da Amazônia estão sob ataque intenso, falhando em seu principal papel. Levantamento do Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (Imazon) indica que, desde 2012, as taxas de desmatamento em UCs vêm aumentando, assim como sua participação no desmatamento total do bioma. O estudo usou dados do Prodes, que fornece a taxa oficial de desmatamento da Amazônia e indicou que entre agosto de 2015 e julho de 2016 a perda de floresta em UC's foi de aproximadamente 8 mil Km² (GIRARDI, 2017).

Os valores referentes a 2015 já superaram os de 2008 - ano que marcou o início do declínio da taxa total de desmatamento na Amazônia, que atingiu o seu menor valor em 2012. A participação da perda da floresta dentro de UCs em relação ao desmatamento total da Amazônia Legal dobrou no período, avançando de 6% em 2008 para 12% em 2015 (GIRARDI, 2017).

Como causa desse aumento muito se atribui a redução de recursos e de pessoal de fiscalização, principalmente por parte do governo federal, além de movimentos para reduzir o grau de proteção ou a área de algumas unidades (GIRARDI, 2017).

Apontada no levantamento como a UC federal mais desmatada, a Floresta Nacional de Jamanxim (PA), atrás somente de duas unidades estaduais, uma também no Pará e outra em Rondônia - os dois Estados líderes em desmatamento

nas florestas protegidas, 49,8% e 38,9%, respectivamente, de acordo com o levantamento (GIRARDI, 2017).

Jamanxim perdeu mais de 9,2 mil hectares de floresta em 2015, área 87% maior do que em 2014. Apesar de ser uma floresta nacional (flona), um tipo de categoria de unidade de conservação que não permite ocupação de povos não tradicionais, a floresta sofre com ocupações especulativas e alta concentração fundiária. Apesar de não haver terras registradas formalmente em cartório dentro da flona, o desmatamento avança justamente para descaracterizar a UC e assim, conseguir sua redução. Esses ocupantes vinham tentando sua revogação no Legislativo e no Judiciário desde que ela foi criada, em 2006 (GIRARDI, 2017).

Avaliando as UC's que mais desmatam, grande parte está enquadrada como Área de Proteção Ambiental (APA) permitindo diversos usos e de menor grau restritivo.

A primeira colocada da lista é a APA estadual Triunfo do Xingu, no Pará, que perdeu no período 45 mil hectares de vegetação. Segundo o IMAZON, a questão é consequência de alterações no Código Florestal em 2012 que permitiu a anistia de desmatamentos ocorridos até 2008. De 2012 a 2016 a taxa total cresceu 75%, reforçando o entendimento por parte dos que desmatam de que é possível desmatar e aguardar por um abrandamento por parte do governo. Ainda soma-se a esse fator às diversas reduções de áreas de conservação e a falta de fiscalização em grandes obras de infraestrutura (GIRARDI, 2017).

O cultivo de soja e pecuária estão fortemente relacionados ao desmatamento nos cenários avaliados. Ao calcular os pesos de evidência, as variáveis de cultivo de soja e criação de bovinos mostraram-se altamente correlacionados a esse fenômeno. Segundo dados da Secretaria de Estado de Desenvolvimento Agropecuário e da Pesca (SEDAP), a quantidade produzida e valor da produção para o cultivo de soja bem como o tamanho efetivo do rebanho bovino (**figura 30, 31 e 32**) vêm aumentando ao longo dos anos. Além da alta correlação evidenciada nos pesos de evidência, é possível perceber que as futuras áreas desmatadas se distribuem espacialmente de maneira semelhante as áreas de maior concentração de cultivo de soja e rebanho de bovinos.

Segundo o Sindicato Rural de Santana do Araguaia, a soja está ganhando espaço no sul do Pará. Áreas que sempre tiveram a pecuária como principal atividade econômica, agora despontam como nova fronteira agrícola. Em Santana do Araguaia, por exemplo, boa parte do que antes era pasto, agora virou plantação. A agricultura ocupava até 2014, 60 mil hectares do território do município, 30% a

mais na comparação com a safra anterior (FAEPA, 2014). Dados da Embrapa Soja, indicam que atualmente o Brasil possui 31 milhões de hectares de área plantada de soja e entre as safras de 2006/2007 e 2013/14 a cultura de soja incorporou mais de 9 milhões de hectares em área plantada no país. O crescimento tem girado em torno de 15% ano e os maiores gargalos estão nas áreas de infraestrutura, logística e regularização fundiária. Isso aponta para a necessidade de se analisar e conhecer as novas regiões produtoras (BRAGA, 2015). No Pará, além da região de Paragominas, a produção da oleaginosa também se concentra no sul do estado e nos municípios de Santarém e entorno (BRAGA, 2015). Na região que envolve os municípios paraenses de Paragominas, Dom Eliseu, Ulianópolis e Rondon do Pará a última safra de soja alcançou cerca de 180 mil hectares de área plantada.

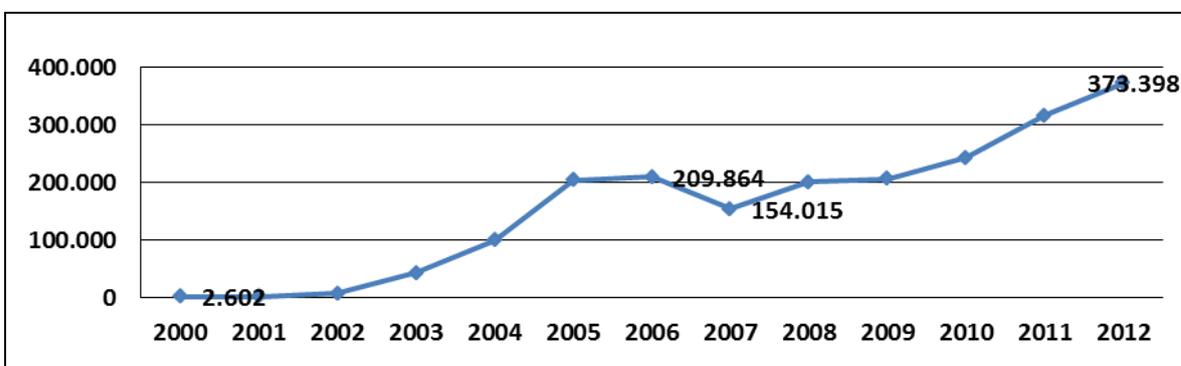


Figura 30. Produto: Soja Quantidade produzida(t) de soja

Fonte: Secretaria de Estado de Desenvolvimento Agropecuário e da Pesca (SEDAP)

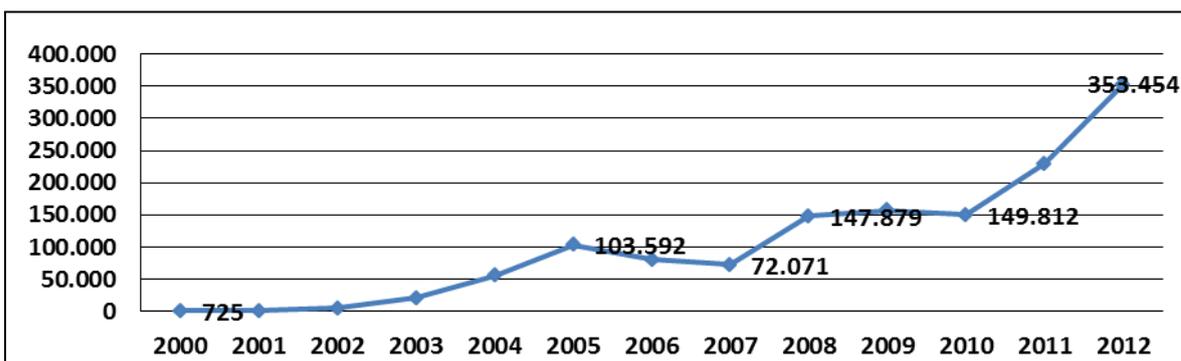


Figura 31. Soja Valor(mil reais) da produção de soja

Fonte: Secretaria de Estado de Desenvolvimento Agropecuário e da Pesca (SEDAP)

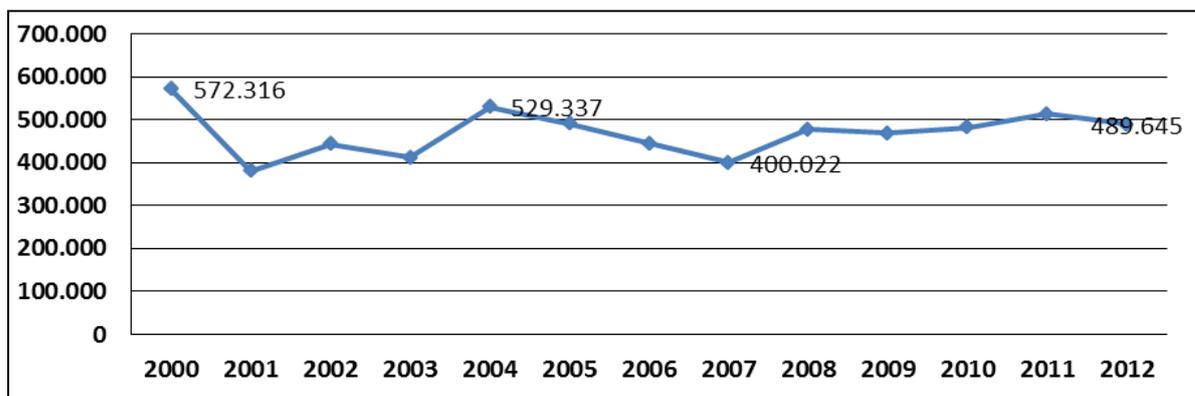


Figura 32. Rebanho bovino efetivo no Pará

Fonte: Secretaria de Estado de Desenvolvimento Agropecuário e da Pesca (SEDAP)

Dois importantes fatores não foram possíveis de serem avaliados nesse estudo e devem ser abordados nos trabalhos futuros de modelagem do desmatamento na Amazônia: a análise da mudança do código florestal e a variável do escoamento da produção pelos portos do arco norte que apresenta um significativo crescimento nos anos recentes. Para o período analisado não foi possível captar os impactos das alterações no Código Florestal, atualmente regulado pela Lei 12.651, de 25 de maio de 2012. O novo código cancela a necessidade de recuperação em áreas consolidadas (desmatamento preexistente a 22 de julho de 2008) em pequenas propriedades (até quatro módulos fiscais), e traz mudança na regra de recuperação das Áreas de Preservação Permanente (APPs) (YOUNG; ALVARENGA JUNIOR, 2017). Soares-Filho et al. (2014) estimaram uma redução de 58% do passivo florestal brasileiro com a revisão do código.

O crescimento dos portos na região norte tem proporcionado importantes vantagens no escoamento da produção da região e retornos financeiros. Em 2016, os portos do Arco Norte exportaram 18% da soja e do milho brasileiros, ficando atrás apenas de Santos como maior exportador desses grãos no Brasil (35%) (CONAB, 2017). O ano de 2017 promete um recorde histórico de movimentação de soja e milho nos portos do Arco Norte. Estudos da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) calculam que aproximadamente 24% dos quase 100 milhões de toneladas de soja e milho previstos para exportação em 2017 sairão do Brasil por um dos portos do Arco Norte (Santarém (PA), Barcarena (PA), Santana (AP), Itacoatiara (RO) ou São Luís (MA)). Esse aumento esperado será impulsionado principalmente pela safra recorde esperada pela CONAB para 2016/2017. Ao invés das construções de rodovias das décadas de 70 e 80, a ampliação de portos no arco norte é a opção logística para escoar a produção dos estados do centro-sul, tornando mais

competitivo as exportações brasileiras e favorecendo o desenvolvimento agrário na região norte.

5. CONCLUSÕES

Nos três cenários avaliados, o estado do Pará terá os seguintes desmatamentos até 2030: 689.160,37 Km² (cenário 1), 754.960,88 Km² (cenário 2) e 741.947,62 Km² (cenário 3). Em 2030, os remanescentes florestais contarão com uma área de 480.877,7 Km² (cenário 1), 251.807,7 Km² (cenário 2) e 442.979,22 Km² (cenário 3). Portanto, somente as Unidades de Conservação e Terras Indígenas e Unidades de Conservação de uso sustentável não conterão o crescimento do desmatamento, necessitando de políticas mais restritivas ao uso. Para o cenário 1 obteve-se sucesso na reprodução do padrão espacial para o ano de 2004 mas a área desmatada na fase de validação foi subestimada. Já os cenários 2 e 3 obtiveram êxito tanto na reprodução do padrão espacial quanto no cálculo de área.

Do ponto de vista da modelagem, a metodologia e conceitos utilizados, aplicados no programa DINAMICA EGO conseguiram captar as novas tendências que norteiam a formação de novas áreas desmatadas para o estado do Pará para os cenários avaliados. As variáveis selecionadas empregadas nos cenários evidenciaram com clareza suas influências ao restringir ou favorecer a conversão de áreas de floresta em novas áreas de desmatamento. Estudos futuros devem incluir a influência dos portos do arco norte e a mudança no código florestal no desmatamento da Amazônia.

É importante ressaltar que os modelos produzidos dependem que as políticas dos períodos avaliados sejam continuadas no futuro, sejam elas medidas que favoreçam ou restrinjam o desmatamento. Embora as taxas de desmatamento ao longo dos últimos venham em tendência decrescente, o cenário atual de crises tanto no âmbito político quanto econômico com cortes orçamentários no governo federal devem impactar as taxas de desmatamento nos anos seguintes já que atividades de fiscalização, pesquisa e conservação tem sua capacidade de ação restringida, apontando para a tendência encontrada no cenário 2. Ainda é prudente a recomendação do cenário 2 já que não se pode avaliar o sucesso ou fracasso dos mecanismos de compensação ambiental propostos pelo novo Código Florestal (Lei 12.651/2012) que pela ausência de delimitações clara de como se dará essa compensação somado ao cancelamento da necessidade de recuperação em áreas consolidadas (anterior a 2008) conferem certo pessimismo aos anos que sucedem.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, Ana Paula Dutra de. **Modelagem de mudança do uso da terra na Amazônia: Explorando a heterogeneidade intraregional.** 2006. 182 f. Tese (Doutorado) - Curso de Sensoriamento Remoto, Inpe, São José dos Campos, 2006.

ARAUJO, Claudio et al. **Property rights and deforestation in the Brazilian Amazon.** *Has*, Paris, v. 20, p.1-30, 17 jan. 2011.

VERÍSSIMO, Adalberto et al. **Áreas Protegidas na Amazônia Brasileira: avanços e desafios.** Belém: Imazon, 2013. Disponível em: <http://fas-amazonas.org/versao/2012/wordpress/wpcontent/uploads/2013/08/Areas_Protegidas_Amazonia.pdf>. Acesso em: 01 mar. 2017.

BARNI, Paulo Eduardo; FEARNSIDE. **Simulating deforestation and carbon loss in Amazonia: impacts in Brazil's Roraima state from reconstructing Highway BR-319 (Manaus-Porto Velho).** *Environmental Management*, Nova York, v. 1, n. 1, p.259-278, 01 dez. 2014.

BARONA, Elizabeth; RAMANKUTTY, Navin; HYMAN, Glenn. **The role of pasture and soybean in deforestation of the Brazilian Amazon.** *Environmental Research Letters*, Londres, v. 5, n. 2, p.1-9, 16 abr. 2010.

BELTRAN-PRZEKURAT, Adriana; PIELKE, Roger A.; EASTMAN, Joseph L.. **Modelling the effects of land-use/land-cover changes on the near-surface atmosphere in southern South America.** *International Journal Of Climatology*, Londres, v. 32, n. 1, p.1206-1225, 17 maio 2011.

BRAGA, Vinicius. **Embrapa inicia diagnóstico da cadeia produtiva da soja.** Disponível em: <<https://www.embrapa.br/web/mobile/noticias/-/noticia/3234701/embrapa-inicia-diagnostico-da-cadeia-produtiva-da-soja>>. Acesso em: 26 maio 2015.

BRANDÃO, A. S. P. et al. **Crescimento agrícola no Brasil no período 1999-2004: explosão da soja e da pecuária bovina e seu impacto sobre o meio ambiente.** Ipea, Rio de Janeiro, v. 1103, p.1-20, mar. 2005.

CÂMARA, Gilberto; VALERIANO, Dalton; VIANEI, João (Ed.). **Metodologia para o Cálculo da Taxa Anual de Desmatamento na Amazônia Legal**. São José dos Campo: Inpe, 2013.

DALLA-NORA, Eloi Lennon; AGUIAR, Ana Paula Dutra de; LAPOLA, David Montenegro. **Why have land use change models for the Amazon failed to capture the amount of deforestation over the last decade?** Land Use Policy, Amsterdam, v. 39, n. 1, p.403-411, 08 fev. 2014.

ESCADA, Maria Isabel Sobral; ALVES, Diógenes Salas. **Mudanças de Uso e Cobertura do Solo na Amazônia: Impactos Sócio-Ambientais na Ocupação de Regiões de Fronteira Agrícola**. São José dos Campo: Inpe, 2001.

ESPINDOLA, Giovana M. de et al. **Agricultural land use dynamics in the Brazilian Amazon based on remote sensing and census data**. Applied Geography, [s.l.], v. 32, n. 2, p.240-252, mar. 2012.

FAEPA. **Sul do Pará desponta como nova fronteira agrícola no plantio da soja**. Disponível em: <<http://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2014/03/sul-do-para-desponta-como-nova-fronteira-agricola-no-plantio-da-soja.html>>. Acesso em: 14 mar. 2014.

FEARNSIDE, Philip M. **Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e conseqüências**. Megadiversidade, [s.l.], v. 4, n. 1, p.113-123, jul. 2005.

GIRARDI, Giovana. **Desmatamento cresce em Unidades de Conservação no meio da Amazônia**. 2017. Disponível em: <<http://sustentabilidade.estadao.com.br/noticias/geral,desmatamento-cresce-em-unidades-de-conservacao-no-meio-da-amazonia,70001704735>>. Acesso em: 18 mar. 2017.

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

HENDERS, Sabine; OSTWALD, Madelene. **Accounting methods for international land-related leakage and distant deforestation drivers**. Ecological Economics, Amsterdam, v. 99, n. 1, p.21-28, 30 jan. 2014.

KEYS, Patrick W.; WANG-ERLANDSSON, Lan; GORDON, Line J.. **Revealing Invisible Water: Moisture Recycling as an Ecosystem Service: Moisture Recycling as an Ecosystem Service**. Plos One, [s.l.], v. 11, n. 3, p.51-67, 21 mar. 2016.

KIRBY, Kathryn R. et al. **The future of deforestation in the Brazilian Amazon**. Futures, [s.l.], v. 38, n. 4, p.432-453, maio 2006.

LIMA, Thiago Carvalho de et al. DINAMICA EGO e Land Change Modeler para simulação de desmatamento na Amazonia brasileira: análise comparativa. **Anais Xvi Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - Sbsr**, Foz do Iguaçu, v. 1, n. 16, p.6379-6386, 13 abr. 2013.

LIRA, Paula K. et al. **Land-use and land-cover change in Atlantic Forest landscapes**. Forest Ecology And Management, [s.l.], v. 278, n. 1, p.80-89, ago. 2012.

LOBO, Alexandre. **Portos do Arco Norte no eixo da exportação de grãos**. 2017. Disponível em: <<http://www.ilos.com.br/web/portos-do-arco-norte-no-eixo-da-exportacao-de-graos/>>. Acesso em: 25 jun. 2017.

MACEDO, M. N. et al. **Decoupling of deforestation and soy production in the southern Amazon during the late 2000s**. Proceedings Of The National Academy Of Sciences, [s.l.], v. 109, n. 4, p.1341-1346, 9 jan. 2012.

MAGLIOCCA, Nicholas R. et al. **Synthesis in land change science: methodological patterns, challenges, and guidelines**. Regional Environmental Change, [s.l.], v. 15, n. 2, p.211-226, 6 jun. 2014.

MARGULIS, S. **Causes of deforestation in Brazilian Amazon**. World Bank Working Paper 22. Washington: World Bank, 2004.

MAS, Jean-françois et al. **Inductive pattern-based land use/cover change models: A comparison of four software packages**. Environmental Modelling & Software, [s.l.], v. 51, p.94-111, jan. 2014.

MMA. **Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal**. 2017. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/informma/item/616-prevenção-e-controle-do-desmatamento-na-amazônia>>. Acesso em: 14 set. 2017.

MOTESHARREI, Safa; RIVAS, Jorge; KALNAY, Eugenia. Human and nature dynamics (HANDY): **Modeling inequality and use of resources in the collapse or sustainability of societies**. Ecological Economics, [s.l.], v. 101, p.90-102, maio 2014.

MUELLER, C et al. **Análise da expansão da soja no Brasil**. Banco Mundial, Brasília, p.1-20, 17 jun. 2003.

NEPSTAD, D. C et al. **Interactions among Amazon land use, forests and climate: prospects for a near-term forest tipping point**. Philosophical Transactions Of The Royal Society B: Biological Sciences, [s.l.], v. 363, n. 1498, p.1737-1746, 27 maio 2008.

OSORIO-MURILLO, Carlos A. et al. **Software framework for inverse modeling and uncertainty characterization**. Environmental Modelling & Software, [s.l.], v. 66, p.98-109, abr. 2015.

PAEGELOW, Martin; CAMACHO, María Teresa. **Modelling Environmental Dynamics. Environmental Science And Engineering**, [s.l.], p.109-139, 2008. Springer Berlin Heidelberg

PERZ, S. G.; SKOLE, D. L. **Social determinants of secondary forests in the Brazilian Amazon**. Social Science Research, v. 32, p. 25 - 60, 2003.

PÉREZ-VEGA, Azucena; MAS, Jean-françois; LIGMANN-ZIELINSKA, Arika. **Comparing two approaches to land use/cover change modeling and their implications for the assessment of biodiversity loss in a deciduous tropical forest**. Environmental Modelling & Software, [s.l.], v. 29, n. 1, p.11-23, mar. 2012.

PIENIZ, Luciana Paim. **O desmatamento no bioma Amazônia brasileira e sua (possível) relação com a expansão dos cultivos de commodities agrícolas**. Estudos Sociedade e Agricultura, [s.l.], v. 24, n. 1, p.243-262, abr. 2016.

PFAFF, Alexander S.p.. **What Drives Deforestation in the Brazilian Amazon?** Journal Of Environmental Economics And Management, [s.l.], v. 37, n. 1, p.26-43, jan. 1999.

PIAZZA, Adriana; ROY, Santanu. Deforestation and optimal management. **Journal Of Economic Dynamics And Control**, [s.l.], v. 53, p.15-27, abr. 2015.

PIONTEKOWSKI, V.J. **Modelagem da dinâmica do uso e cobertura da terra do estado de Rondônia até 2050**. 2014. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

PRISHCHEPOV, Alexander V. et al. **The effect of Landsat ETM/ETM+ image acquisition dates on the detection of agricultural land abandonment in Eastern Europe**. Remote Sensing Of Environment, [s.l.], v. 126, p.195-209, nov. 2012.

SOARES-FILHO, B. S. **Impacto da revisão do Código Florestal: como viabilizar o grande desafio adiante?** Report. Secretaria de Assuntos Estratégicos, Brasília, 2013. Disponível em: <http://www.sae.gov.br/site/wp-content/uploads/Artigo-codigo-florestal.pdf>. Acesso em: 5 de janeiro de 2016.

SOARES-FILHO, Britaldo S. et al. **Role of Brazilian Amazon protected areas in climate change mitigation**. PNAS, Nova York, v. 107, p.10821-10826, 26 maio 2010.

SOARES - FILHO, B. et al. **Modeling conservation in the Amazon basin**. Nature, v. 440, n. 7083, p. 520 - 523, 2006.

SOARES-FILHO, Britaldo Silveira et al. **Cenários de desmatamento para a Amazônia**. Estudos Avançados, [s.l.], v. 19, n. 54, p.137-152, ago. 2005.

SOARES-FILHO, Britaldo S.; RODRIGUES, Hermann O.; COSTA, William L. **Modeling Environmental Dynamics with Dinamica EGO: Guidebook**. 2013. Disponível em: <<http://www.csr.ufmg.br/dinamica>>. Acesso em: 01 mar. 2017.

TEWKESBURY, Andrew P. et al. **A critical synthesis of remotely sensed optical image change detection techniques**. Remote Sensing Of Environment, [s.l.], v. 160, p.1-14, abr. 2015.

WALKER, Robert; HOMMA, Alfredo Kingo Oyama. **Land use and land cover dynamics in the Brazilian Amazon: an overview**. Ecological Economics, [s.l.], v. 18, n. 1, p.67-80, jul. 1996.

WERTH, David; AVISSAR, Roni. The local and global effects of Amazon deforestation. **Journal Of Geophysical Research**. [s.l.], p. 1-8. 24 out. 2002.

YOUNG, Carlos Eduardo Frickmann; ALVARENGA JUNIOR, Marcio. **Custos e benefícios da implementação de um mercado de cotas de reserva ambiental**

(CRA) no Brasil. 2017. 64 f. Monografia (Especialização) - Curso de Economia e Mercado Florestal, UFRJ, Rio de Janeiro, 2017.

XIMENES, Arimatéia de Carvalho et al. **Modelagem dinâmica do desmatamento na Amazônica.** Bol. Ciênc. Geod., Sec. Artigos, Curitiba, v. 14, p.370-391, jul. 2008.

Governo do estado do Pará, 2017. Disponível em < http://www.pa.gov.br/O_Para/meioambiente.asp >. Acesso em 01/04/2017

EMBRAPA,2017. Disponível em < <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos> > . Acessado em 01/04/2017.> Acesso em 01/04/2017.

< <http://www.ecologia.ufrgs.br>>. Acesso em 28/06/2015.

< <http://www.ivm.vu.nl> >. Acesso em 28/06/2015.

< <http://www.sedap.pa.gov.br/pecuaria.php> >. Acesso em 28/06/2015.

< <http://cidades.ibge.gov.br> >. Acesso em 11/05/2016

< <http://www.sedap.pa.gov.br/agricultura.php> >. Acesso em 01/04/2017

<<http://www.sedap.pa.gov.br/pecuaria.php> >. Acesso em 01/04/2017

<<http://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2014/03/sul-do-para-desponta-como-nova-fronteira-agricola-no-plantio-da-soja.html>> Acesso em 01/07/2017

< <http://www.brasil.gov.br>> Acesso em 01/07/2017

<<http://www.ilos.com.br/web/tag/portos-do-arco-norte/>> Acesso em 01/08/2017

Embrapa Soja <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1>> Acesso em 01/08/2017