



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente e
Sustentabilidade na Amazônia – PPG/CASA
Mestrado Acadêmico

SIMULAÇÃO DO DESMATAMENTO EM APUÍ-AM A PARTIR DE REGRAS DE USO DO TERRITÓRIO

Mestrando: Frederico Octávio Ribeiro Fonseca
Orientador: Dr. Paulo Maurício Lima de Alencastro Graça

MANAUS – AMAZONAS
2012



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente e
Sustentabilidade na Amazônia – PPG/CASA
Mestrado Acadêmico

SIMULAÇÃO DO DESMATAMENTO EM APUÍ-AM A PARTIR DE REGRAS DE USO DO TERRITÓRIO

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Ciências do Ambiente e
Sustentabilidade da Amazônia – PPG/CASA
para aquisição de título de Mestre

MANAUS – AMAZONAS
2012

Dedico

Ao Deus Pai Celestial e ao meu Senhor Jesus Eterno Soberano com toda Honra e Glória por Amor Absoluto; aos meus pais Waldeliz Silva Ribeiro e Rogério Daminhão Fonseca; a minha irmã Luiza Almeida, aos meus saudosos avós Nair Silva Ribeiro Walfrido Miranda Ribeiro, Francisco de Paula Fonseca, Tereza Marone Fonseca e a minha querida e futura esposa Vanessa Lima Moda com muito amor e carinho.

AGRADECIMENTOS

O epitáfio de Apostolo Paulo, inspiração para minha vida “*Combati o bom combate, acabei a carreira, guardei a fé.*” (2 Timóteo 4:7 – Bíblia Sagrada).

Eternamente grato a Deus por essas palavras ditas pelo seu servo Paulo e que me tornaram um servo, sobretudo com amor naquilo que tenho como mais sagrado em minha vida, a minha salvação que me faz combater um bom combate todos os dias, esperar por encerrar a carreira para um dia guardar a fé ao lado do meu Senhor Jesus Cristo. Obviamente um bom combate não poderia ser melhor se não tivesse a companhia de pessoas especiais encaminhadas por Deus a mim e cito algumas delas agora pedindo perdão as demais que não citarei, pois são muitos os que me fazem boa companhia.

Primeiramente agradeço a minha mãe que está presente em todos os momentos importantes de minha vida seguindo comigo do momento em que nasci até hoje sempre me cercando de carinho, atenção e principalmente exortações. Ao meu pai que tenta, dentro de suas possibilidades, ajudar-me mesmo com a distância de minha terra natal que infelizmente se faz um obstáculo. Apesar disso, não pode me impedir de guarda-lo em meu coração com amor. Agradeço a minha família onde tios e tias, primos e primas são pais e mães, irmãos e irmãs. Criados juntos no conforto da união apesar de todas as dificuldades dessa vida.

A minha futura esposa Vanessa Lima Moda pelo seu carinho e amor e aos seus pais “Dona Graça” e “Seu Sebastião” que me acolheram e me aceitaram como futuro genro com amizade, carinho e respeito.

Agradeço ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia que há tanto tempo me acolhe por meio de muitos dos seus funcionários e amigos que, neste local, trabalham junto comigo e acima de tudo me concede as oportunidades de carreira.

Ao meu Orientador Dr. Paulo Mauricio, que esteve comigo nos momentos mais difíceis ajudando a chegar aonde cheguei atravessando um caminho que por vezes foi árduo, mas ao mesmo tempo gratificante. Agradeço aos amigos do laboratório Agroeco e INPA, Raimundo Barbosa Matos, Vinicius Machado Rocha e Dr. Renato Cintra por simplesmente serem amigos nas horas necessárias. Grato também ao Dr. Euler Nogueira de Melo por suas sugestões que contribuíram para o término deste trabalho.

Agradeço ainda ao Dr. Philip Fearnside que indiretamente colaborou para o meu crescimento como profissional por meio de suas publicações, sugestões e possibilitando o uso dos recursos do laboratório juntamente com o Dr. Paulo Mauricio.

Agradeço com muito carinho a Universidade Federal do Amazonas que, no primeiro trabalho juntos, já me trouxe bons frutos e um apoio gigantesco por meio da minha querida casa do mestrado, o Centro de Ciências do Ambiente (CCA).

Do CCA, sou grato especialmente ao meu Professor Dr. Henrique dos Santos Pereira por seu apoio em todos os momentos que precisei, a sua solicitude jamais será esquecida. Agradeço aos novos amigos do CCA como o mestre “Tijolo” e “Seu Joaquim”, a todos os meus Professores e companheiros de curso que demonstraram grande amizade e me proveram muitos ensinamentos.

Agradeço ao Dr, Camilo Daleles Rennó do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) por gentilmente ceder uma das ferramentas mais importantes constituintes deste trabalho, o HAND, e me orientar dentro das suas possibilidades nas minhas análises em modelagem hidrológica abrindo novos horizontes dentro para o término desta missão.

Agradeço ao CNPq por estarmos juntos nessa caminhada há praticamente sete anos contínuos, contribuindo com a sua ajuda mediante as bolsas fielmente concedidas em tempo certo. Agradeço ao Governo Federal do meu amado País, o Brasil e ao Ministério da Ciência e Tecnologia por este incentivo. Grato também ao Estado do Amazonas e a cidade de Manaus por ser a minha “terra firme”. Por mais que seja do sudeste de nascimento hoje sou do norte de coração.

Por fim, mas não menos importante e de uma maneira muito especial agradeço a todas as pessoas que contribuíram de certa forma para o término deste trabalho incluindo os meus amigos moto taxistas Pedro Pai e Pedro filho que me levam e buscam no INPA todos os dias, as senhoras da limpeza da UFAM e do INPA que me proporcionam um local limpo e agradável de trabalho e aos seguranças que são, na sua simplicidade, sempre sorridentes a minha pessoa.

Aeternaliter gratus Christum salvatorem

RESUMO

Localizado ao sul do Estado do Amazonas, o município de Apuí concentra grande parte do desmatamento deste estado. O desmatamento em Apuí está ligado ao avanço da pecuária, sendo que, entre 1997 a 2007, as maiores taxas de desmatamento no Estado foram registradas para esta região, junto com um grande aumento do rebanho bovino. A expansão rápida da atividade antrópica em Apuí tem levado uma crescente degradação da cobertura florestal, mesmo em áreas protegidas, tais como as Áreas de Proteção Permanente (APP). Dentro deste contexto, o presente estudo teve como objetivo simular o desmatamento em Apuí, no período de 2009 a 2039, utilizando o modelo AGROECO desenvolvido no software DINAMICA-EGO. Adicionalmente, foi elaborado um modelo, utilizando técnicas de geoprocessamento, para delimitar as áreas de APP para as faixas de 30, 50, 100, 200 e 500 m em torno de cursos d'água, tomando em conta o Código Florestal Brasileiro (1965). Este modelo permitiu verificar o estado atual e futuro da conservação das APPs em relação ao efeito do desmatamento no município. Para isto, foi elaborado um cenário de referência, ou seja, linha de base de “negócios como sempre” (BAU), considerando a tendência histórica do desmatamento na região. Os resultados obtidos demonstram que até 2039 seriam perdidas 2727,9 km² (4,3%) da área de cobertura florestal original e 173,0 km² (4,7%) de área total de APP no município. Considerando-se somente a área de Apuí sem o buffer, foi observada uma perda de 2586,4 km² (5%) da cobertura florestal original e de 154,4 km² (5,2%) da área total de APP. Observando somente a área do Projeto de Assentamento (PA) do Juma, o desmatamento ao final da simulação foi de 1852,8 km² (32%) e para as APP do PA foi perdida ao final da simulação uma área de 103,4 km² (33,9%) em relação à área original de APP do PA (304,8 km²). Para a Floresta Nacional (FLONA) do Jatuarana, o desmatamento foi 27,2 km² (0,4%) ao final da simulação, o que é pequeno em relação ao total da perda de floresta original no Município (5773,7 km²). A partir dos resultados obtidos é possível observar que o desmatamento no município é concentrado no PA do Juma. A simulação utilizando o modelo AGROECO foi de suma importância para avaliar a perda de áreas de APP nos próximos 30 demonstrando que a maior parte das APP degradadas seriam as de 30 m e 50 m próximas a áreas previamente desmatadas. Contudo quando se contabiliza a área total APP do município, este se mostra em bom estado de conservação que pode estar relacionado com a presença de um mosaico de unidades de conservação ocupando mais da metade do município. Porém, na FLONA do Jatuarana nota-se desmatamento próximo à rodovia AM-174 que adentra seus limites por meio do PA do Juma. Para o restante das unidades de conservação não foi contabilizado desmatamento. Em relação ao desrespeito ao Código Florestal, nota-se que as áreas que contribuíram mais para isso são o PA do Juma e seu entorno, próximo ao desmatamento prévio. O modelo AGROECO e o modelo proposto para as APPs podem ser apreciados como instrumentos usados para entender a dinâmica e o uso da terra. Os resultados devem ser considerados como simplificações de sistemas complexos, que envolvem fatores sociais e econômicos, mas os modelos podem indicar os rumos prováveis em relação a acontecimentos futuros. Apesar das limitações, os resultados obtidos podem auxiliar no sentido de tomada de decisão e criação de medidas de mitigação na tentativa de conter o desmatamento e consequentemente perda de áreas importantes como as de APP que ajudam na manutenção do meio ambiente.

Palavras-chave: *modelagem, área de proteção permanente, Código Florestal Brasileiro, desmatamento*

ABSTRACT

Located in the southern part of the state of Amazonas, the municipality (county) of Apuí is the focus much of the deforestation in this state. Deforestation in Apuí is linked to the advance of cattle, and between 1997 and 2007 the state's highest rates of deforestation were recorded in this region, along with a great increase in the cattle herd. The rapid expansion of human activity in Apuí has led to increasing degradation of forest cover, even in protected areas such as the Permanent Protection Areas (APP). The present study simulated deforestation in Apuí over the period from 2009 to 2039 using the AGROECO model developed in the DINAMICA-EGO software. Additionally, a model was developed using geoprocessing techniques in order to delineate APPs as strips of forest 30, 50, 100, 200 and 500 m in width on either side of the watercourses, taking into account the 1965 Brazilian Forest Code. This model allowed us to quantify losses of APPs at present and with the effect of future deforestation in the municipality. We constructed a reference scenario or "business-as-usual" (BAU) baseline that projects the historical deforestation. The results show that by 2039 a total of 2727.9 km² (4.3%) of the area of original forest cover would be lost. Of the total area of APPs in the municipality, 173.0 km² (4.7%) would be lost by the end of the simulation. If one considers only the area of the municipality of Apuí outside of the buffers (APPs), there was a loss of 2586.4 km² (5%) of the original forest cover in the municipality and a loss of 154.4 km² (5.2%) of the total area of the APPs. Observing only the PA do Juma, the area cleared by the end of the simulation was 1852.8 km² (32%), while in relation to the original area of the APPs in the PA (304.8 km²), the area lost was 103.4 km² (33.9%) by the end of the simulation. For the Jatuarana National Forest (FLONA), deforestation was 27.2 km² (0.4%) at the end of the simulation, which is small compared to the total area of original forest lost in the municipality (5773.7 km²). From the results we note that deforestation is concentrated in the PA do Juma. The simulation using the AGROECO model was important in assessing the loss of APPs over the next 30 years showing that most areas of the APP that would be degraded would be those that are 30 and 50 m in width and are near previously cleared areas. However when one considers the total area of APP in the municipality, this appears to be in good condition, which could be related to the presence of a mosaic of protected areas that occupies more than half of the municipality. But in the Jatuarana FLONA deforestation occurs near the AM-174 Highway, which enters the FLONA by way of the PA do Juma. No deforestation was seen in the remainder of the conservation units. In relation to violations of the Forest Code, we found that the areas that contributed most to this are the PA do Juma and its surroundings that are close to the previous deforestation. The AGROECO model and the model proposed for the APPs and can be used as tools used to understand the dynamics of land-use change. The results should be considered as simplifications of complex systems that involve social and economic factors, but the models can indicate probable outcomes regarding future events. Despite these limitations, the results may help in decision-making and in creating mitigation measures in an attempt to halt deforestation and consequently the loss of important areas such as the APPs that help to sustain the environment.

Keywords: *modeling, permanent protection area, Brazilian Forest Code, desforestarion*

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	ii
1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	16
2.1 GERAL	16
2.2 ESPECÍFICOS	16
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
4.1 USO E COBERTURA DA TERRA NA AMAZÔNIA	17
4.2 O CÓDIGO FLORESTAL BRASILEIRO	20
4.2.1 O “NOVO” CÓDIGO FLORESTAL BRASILEIRO	24
4.2.2 CÓDIGO FLORESTAL EM VIGOR (LEI 12.272/2012) E OS VETOS DO GOVERNO FEDERAL À PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DO CÓDIGO.	26
4.3 O SISTEMA NACIONAL DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO - SNUC	28
4.3.1 MOSAICO DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DE APUÍ.....	29
4.4 MODELOS DE USO DA TERRA – PRINCIPAIS MODELOS ESPACIAIS UTILIZADOS NA AMAZÔNIA.....	32
4.4.1 MODELO DE LAURANCE et al.(2001)	33
4.4.3 MODELO DE AGUIAR (2006)	34
4.4.4 MODELO DE SOARES-FILHO et al. (2006).....	34
4.4.5 MODELO DE FEARNSIDE et al. (2009)	36
4.4.6 MODELO DE YANAI et al. (2012)	38
5 DIFERENÇAS CONCEITUAIS ENTRE MODELOS DE ARQUITETURA TOP-DOWN E BOTTOM-UP.....	41
6. MATERIAL E MÉTODOS	45
6.1 ÁREA DE ESTUDO	45
6.1.2 LEVANTAMENTO DE CAMPO E ORGANIZAÇÃO DOS DADOS	48
6.1.3 O DINAMICA EGO	49
6.2.2 SIMULAÇÃO DO DESMATAMENTO PARA O MUNICÍPIO DE APUÍ.....	51
6.2.3 CONTRUÇÃO DA BASE DE DADOS GEOGRÁFICA PARA APUÍ POR MEIO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)	53
6.2.4 MÓDULO CONSTRUTOR DE ESTRADAS DO MODELO AGROECO.....	57
6.2.5 PESOS DE EVIDÊNCIA.....	60
6.3.1 PROCEDIMENTO DE ALOCAÇÃO DE MUDANÇAS	62

6.3.1.2 CÁLCULO DA TAXA MÉDIA DE DESMATAMENTO PARA A SIMULAÇÃO EM APUÍ.	63
6.3 PROCESSO DE QUANTIFICAÇÃO DE MUDANÇAS	64
6.3.2 CALIBRAÇÃO DO MODELO	65
6.3.3 VALIDAÇÃO ESPACIAL DO MODELO	66
6.2.8 EXTRAÇÃO DE REDE DE DRENAGEM PARA DELIMITAÇÃO DE ÁREAS DE PROTEÇÃO PERMANENTE (APP) UTILIZANDO A DISTÂNCIA AOS RIOS	67
6.2.9 DELIMITAÇÃO DAS FAIXAS MARGINAIS DE DISTÂNCIA DE APP EM RELAÇÃO À LARGURA DOS RIOS.....	73
7 RESULTADOS E DISCUSSÃO	78
7.1 AVALIAÇÃO DO MODELO QUANTO A SUA ACURÁCIA.....	78
7.2 PESOS DE EVIDÊNCIA.....	80
7.2 CENÁRIO LINHA DE BASE PARA APUÍ COM TENDENCIA HISTÓRICA DO DESMATAMENTO E AREA DE ENTORNO (BUFFER DE 5KM)	85
7.3 CENÁRIO LINHA DE BASE PARA O MUNICÍPIO DE APUÍ COM TENDÊNCIA HISTÓRICA DO DESMATAMENTO (SEM BUFFER)	90
7.4 CENÁRIO PARA O PROJETO DE ASSENTAMENTO DO JUMA	93
7.5 CENÁRIO PARA AS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO ESTADUAL E FEDERAL (MOSAICO DE UNIDADE DE CONSERVAÇÃO EM APUÍ).....	98
8. CONCLUSÃO.....	101
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Evolução do rebanho bovino (número de cabeças) e do desmatamento no município de Apuí entre 1990 e 2008 (área em ha).	14
Figura 2. Taxa média do desmatamento na Amazônia Legal ($\text{km}^2 \text{ano}^{-1}$) para o período de 1988 a 2011. Fonte: (INPE, 2011).	18
Figura 3: Unidades de conservação federal e estadual no município de Apuí, Amazonas, segundo categoria de uso e nível administrativo.	31
Figura 4: Cenário não otimista e otimista representado por áreas altamente degradadas (preto), áreas com degradação moderada (vermelho), áreas com baixa degradação (amarelo), floresta intacta (verde).	33
Figura 5: Resultado dos cenários obtidos pelo SIMAMAZONIA (a) cenário linha de base considerado não otimista não levando em consideração o Programa ARPA e (b) cenário de governança considerando o Projeto ARPA.	36
Figura 6: Esquematização do modelo numérico elaborado em VENSIM. O módulo principal de cálculo e os módulos de transferência das variáveis localizados no centro da figura; à esquerda, a entrada de variáveis iniciais do DINAMICA no modelo não espacial e, à direita, a saída das taxas para o modelo espacial.	37
Figura 7: Cenários linha de base (a) e conservação (b) simulados. A área em vermelho demonstra o aumento do desmatamento na região da ALAP.	38
Figura 8: Mapa dos resultados obtidos na simulação dos cenários BAU, CV e CVR projetados até 2050. Mapas na posição superior demonstram a paisagem na área total da simulação e mapas na posição inferior destacam a área da RDS do Juma.	40
Figura 9: Estrutura geral dos modelos <i>top-down</i>	42
Figura 10: Abordagem <i>top-down</i> e <i>bottom-up</i>	43
Figura 11: Mapa do município de Apuí, situado no sul do Estado do Amazonas.	46
Figura 12: Criação de gado em pasto no PA do JUMA com babaçual ao fundo.	47
Figura 13: Exemplo de carta imagem utilizada em campo para observação da área de estudo.	49
Figura 14: Fluxograma representando a rotina de análises feita em modelos de simulação desenvolvidos no DINAMICA EGO.	51
Figura 15: Área de estudo no município de Apuí; destacando de área utilizada para extrair as médias de distância de floresta fundiária dentro do retângulo pontilhado.	52
Figura 16: Área de estudo, destacando a representação das áreas de floresta fundiária e acessível conforme a simulação feita no AGROECO.	52
Figura 17: Mapas de uso e cobertura da terra (a) inicial (ano de 2000) e (b) final (ano de 2009).	53
Figura 18: Mapa de altitude (a) e declividade (b) extraído do SRTM 4.1	54
Figura 19: (a) Distância as estradas principais e (b), distância a estradas secundárias atualizadas.	54

Figura 20: Mapa de vegetação derivado do RADAMBRASIL, no qual as classes Asc/AsP/A representam a floresta ombrófila aberta submontana; CSe -floresta estacional; Dae/Dau -floresta ombrófila densa aluvial; Dbe -floresta ombrófila densa de terras baixas; DSe/DSu/D - floresta ombrófila densa submontana; e Sd/Sps/Spf/Pah/Paas -formações não-florestais.	55
Figura 21: Mapa de unidades de conservação estadual, federal e terra indígena presentes na região de estudo.	55
Figura 22: Tipos de solos encontrados na região de estudo.	56
Figura 23: Mapa de fricção com unidades de conservação. Valores de fricção variando entre baixo (amarelo) a alto (vermelho).	56
Figura 24: Mapa de atratividade com regiões mais atrativas à construção de estradas.	57
Figura 25: Mapa de hidrografia derivado do mapa de cobertura da terra do PRODES.	57
Figura 26: Mapa de probabilidade representando as probabilidades de ocorrência de desmatamento, segundo o método estatístico dos pesos de evidência.	62
Figura 27: Mapa de referência PRODES 2010 (a) e mapa simulado para 2010 (b).	66
Figura 28: Possibilidades de resultados da validação entre os mapas simulado e real considerando a alocação de células.	67
Figura 29: Representação da malha hidrográfica presente na base de dados da Agência Nacional de Águas (ANA), do município de Apuí, destacando em amarelo a delimitação as áreas com menor detalhamento do que as demais áreas da malha hidrográfica.	68
Figura 30: Mosaico de imagens SRTM 4.1 para município de Apuí.	69
Figura 31: Preenchimento de valores com inconsistência, nas áreas circuladas em amarelo como exemplo, nos pixels da imagem usando a ferramenta <i>fill</i> do HAND.	70
Figura 32: a) Malha hidrográfica de Apuí apresentando inconsistência na base de dados; b) Malha hidrográfica após correção feita pela modelagem hidrográfica, onde UCE e UCF significam, respectivamente, unidades de conservação estaduais e federais.	71
Figura 33: Exemplo de cursos de água visualizados em imagens alta resolução espacial proveniente da Google, com pontos randômicos em vermelho (a) para estabelecer as secções de medidas dos rios em azul (b)	71
Figura 34: Exemplo de um curso de água do município de Apuí visualizado em imagens de satélite proveniente do banco de dados da Google, antes da modelagem hidrológica (a), após a rede hídrica ser modelada (b) e com APP delimitada (c)...	72
Figura 35: Representação da hidrografia em forma de linhas resultante do modelo hidrológico HAND (a) e a representação hidrográfica na forma de polígonos, resultante do modelo de ajuste no ARCGIS usando estimativa de largura médias dos rios (b).	74
Figura 36: Exemplo de mapas do PRODES sem considerar a hidrografia reformulada (a) e considerando a hidrografia reformulada em azul (b).	75
Figura 37: Mapa de cobertura da terra considerando largura média de hidrografia e APP modelada segundo o critério estabelecido no Código Florestal ao longo dos cursos d'água.	76

Figura 38: Exemplo ilustrativo da área de rio e APP sobrepostas por rio de menor ordem, observado após a modelagem.	77
Figura 39: Exemplo ilustrativo da área de APP após a correção da superposição do rio de menor largura sobre o de maior, mantendo-se, prioritariamente, a área de APP de maior largura sobre a de menor.	77
Figura 50: Desmatamento em Apuí considerando o buffer de 5km, antes (2009) e ao final da simulação (2039).	87
Figura 51: Desmatamento na área do buffer de 5 km ² da área do município de Apuí, destacando a expansão deste ao final da simulação ao norte do município.	88
Figura 52: Desmatamento na área do buffer de 5 km ² da área do município de Apuí, destacando a expansão deste ao final da simulação a oeste do município.	89
Figura 53: Desmatamento acumulado em áreas de APP para o ano de 2009 (PRODES) e ao final da simulação (2039), considerando o buffer na parte oeste de Apuí.	89
Figura 54: Desmatamento na área do buffer de 5 km ² da área do município de Apuí, destacando a expansão deste ao final da simulação na parte nordeste do município.	90
Figura 55: Incremento anual de desmatamento na área do município de Apuí e do PA do JUMA até 2030. (Eixo x simulado até 2039 com 30 iterações).	94
Figura 56: Área desmatada no início (2009) e ao final (2039) da simulação no município de Apuí, destacando-se a área PA do JUMA.	95
Figura 57: Desmatamento na área da Flona do Jatuarana para o PRODES 2009 e Simulado final (2039).	100

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Valores de atratividade atribuídos a regiões específicas do município de Apuí.....	59
Tabela 2: Valores de fricção estabelecidos para a declividade e áreas de proteção ambiental.....	60
Tabela 3: Área desmatada e de floresta remanescente dentro e fora da Superfície de Floresta Fundiária (SFF).....	64
Tabela 4: Largura média estimada dos rios e as faixas de APP de acordo com o Código Florestal Brasileiro.....	74
Tabela 5: Erro percentual entre a quantidade de células do mapa simulado e o real (PRODES - 2011).....	79
Tabela 6: Área de floresta remanescente e desmatamento acumulado no mapa inicial (2009) e simulado (2039) na área total de estudo (município e buffer)*.....	85
Tabela 7: Área desmatada acumulada nas APP até 2009 PRODES na área de estudo (Município + Buffer).....	86
Tabela 8: Área desmatada em APP no mapa simulado final em 2039 (Município +Buffer).....	86
Tabela 9: Área (km ²) de floresta total e desmatamento acumulado no mapa inicial (2009) e simulado (2039) na área total de estudo (município e buffer).....	91
Tabela 10: Área desmatada acumulada nas APP até 2009 PRODES na área de estudo (Município sem o buffer).....	91
Tabela 11: Área desmatada em APP no mapa simulado final em 2039.....	92
Tabela 12: Área desmatada no PA do JUMA para o PRODES 2009 e SIMULADO FINAL.....	94
Tabela 13: Área das APPs presentes no PA do Juma comparadas com a área original no município.....	96
Tabela 14: Área desmatada acumulada nas APP até 2009 PRODES no PA do JUMA	96
Tabela 15: Área desmatada acumulada nas APPs para a simulação até 2030 PA do JUMA.....	97
Tabela 16: Unidades de conservação componentes do mosaico de UCs do município de Apuí (CEUC).....	99
Tabela 17: Área desmatada na FLONA Jatuarana para o PRODES 2009 e SIMULADO FINAL (2039).....	99

1 INTRODUÇÃO

Desde o início da segunda metade do século XIX, a Amazônia vem sendo ocupada intensamente e também alvo de políticas governamentais que influenciaram tanto na forma de uso da terra, como nas formas de apropriação e utilização dos recursos naturais (LEAL, 2010). Apesar de uma grande área de floresta se manter intacta até hoje, ao longo do arco do desmatamento a taxa de perda de floresta é considerada alta nas bordas que seguem ao sul e a leste (FEARNSIDE, 2005).

A Amazônia teve duas grandes investidas históricas em termos de crescimento econômico. A primeira, na década de 1960, se apoiou na expansão da agropecuária, abertura de novas estradas. A segunda, na década de 1970, foi sustentada na criação da Zona Franca de Manaus que visava o crescimento do polo industrial na cidade de Manaus. As duas iniciativas apresentaram problemas sendo que o primeiro modelo trouxe uma ocupação territorial acelerada e desordenada, atrelada a um alto índice de desmatamento e conflitos fundiários. A segunda iniciativa estabeleceu na capital do Amazonas um grande polo industrial e de tecnologia embasado em uma política de incentivos fiscais, que, por consequência, promoveu uma ocupação urbana desordenada em Manaus (BECKER, 1990).

Localizado ao longo do arco do desmatamento, o sul do Estado do Amazonas contém as áreas de maior concentração do desmatamento deste estado (BECKER, 2005). No intuito de conter o avanço do desmatamento, tanto o Governo Federal quanto o Estadual, têm aumentado a criação e o reconhecimento de áreas protegidas (SDS, 2008). As áreas de proteção ambiental, segundo Fearnside et al (2009), desempenham um papel importante para o meio ambiente como, a redução na emissão de carbono e por consequência redução no efeito estufa, proteção da diversidade biológica e a manutenção das funções de ciclagem de água na floresta. No entanto, não podem ser consideradas como a única solução para contenção do desmatamento (SOARES-FILHO et al., 2010).

De acordo com a CEPAL (2007), a expansão da fronteira agropecuária no sul do Amazonas é consequência de grandes projetos de assentamentos que foram pecuarizados devido a um longo processo de abandono da produção familiar. Fearnside (2006) demonstra que a forma como é atuado e a intensidade do desmatamento variam ao longo do tempo, mas em geral, os atores principais são os grandes e médios fazendeiros, sendo que os pequenos agricultores, quando concentrados, podem atuar expressivamente.

Os projetos de tentativa de contenção do desmatamento e ordenamento territorial no Estado do Amazonas, historicamente, tiveram seu início na década de 1980 com o PDRI (Programa de Desenvolvimento Rural Integrado) que era voltado para o ordenamento das atividades agropecuárias da região do Baixo Amazonas (Parintins, Urucará, Barreirinha e Boa Vista do Ramos) e na década seguinte com PGAI (Projeto de Gestão Ambiental Integrada) onde se teve o início também do ZEE (Zoneamento Ecológico Econômico) do estado integrado ao PPG7 (Programa de Piloto para Proteção das Florestas Tropicais do Brasil). Após uma análise da conjuntura da época foi verificado que a região prioritária era a sul-sudeste do Amazonas sobre forte pressão de ocupação e impactos ambiental oriundos de polos econômicos como Manaus, Itacoatiara, Presidente Figueiredo, Cuiabá (MT) e intensa migração de Porto Velho (RO) (SDS, 2008).

Há diversos fatores no sul do Estado do Amazonas que podem ser atribuídos como causas do desmatamento, citando-se como exemplo, a conversão de floresta em pastagens, o corte e a queima de floresta para cultivos, a abertura de estradas ilegais, a exploração madeireira predatória e a grilagem de terras (ALENCAR et al., 2004). Situado ao sul do Estado do Amazonas, o município de Apuí é hoje considerado um dos principais focos de desmatamento deste estado, apresentando grandes áreas desmatadas ao longo da rodovia Transamazônica (BR - 230) e nas áreas dos projetos de assentamento (YANAI 2010). Neste município, a pecuária tem escala empresarial e o desmatamento avança rapidamente segundo a necessidade de implantação de novos pastos (FEARNSIDE, 2009).

No intuito de conter o desmatamento na região sul-sudeste do Estado do Amazonas, foi realizado o Zoneamento Ecológico Econômico Sistemático e Participativo (ZEEP/AM) dos municípios Apuí, Manicoré, Novo Aripuanã e Humaitá através de várias parcerias entre instituições que visavam à elaboração participativa de cenários alternativos de desenvolvimento a fim de conter o desmatamento e sugerir novas formas sustentáveis de uso da terra (SDS, 2008).

Nos últimos anos, o Brasil vem se tornando um dos maiores exportadores de carne do mundo. No sul do Amazonas, os municípios Boca do Acre e Apuí receberam um incremento especial no rebanho bovino desde o início da década de 1990, mas como consequência deste fato, no município de Apuí, houve também um acentuado valor da terra onde as pastagens já estão formadas estimulando e intensificando o desmate daquela região (RAZERA, 2005).

Recentemente, foi visto por Carrero (2009) que existe uma tendência de expansão das fronteiras rurais em direção ao centro da Amazônia (LAURANCE, 2000, FEARNSIDE e GRAÇA, 2006) em assentamentos e garimpos com o aumento da migração inter-regional (DE ALMEIDA e CAMPARI 1995, PERZ 2002), principalmente para o sul de Roraima, norte do Mato Grosso e sul do Amazonas (SAWYER 2001).

Em Apuí, entre os anos de 1997 a 2007, o município teve uma área desmatada aumentada em quatro vezes e, a partir de 2003, o rebanho bovino vem crescendo muito rapidamente juntamente com o número de produtores de gado cadastrados até 2009 (CARRERO e FEARNSIDE, 2011), conforme demonstra a Figura 1.

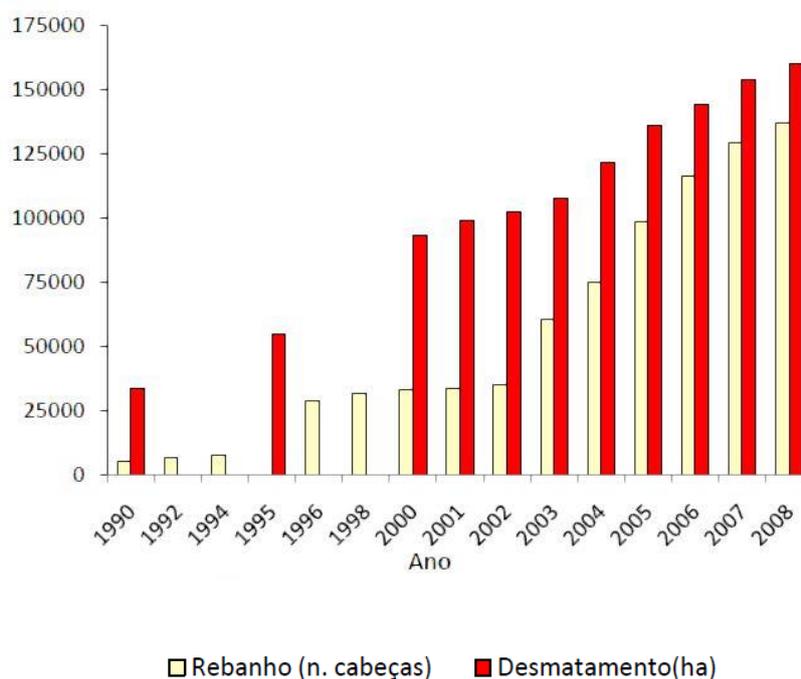


Figura 1: Evolução do rebanho bovino (número de cabeças) e do desmatamento no município de Apuí entre 1990 e 2008 (área em ha).
Fonte: Adaptado de Carrero (2009).

Além da pecuária como um dos principais motores do desmatamento, concentra-se também no município a atividade madeireira. Segundo Razera (2005), a exploração ilegal de madeira em Apuí atinge espécies importantes economicamente como o cedro (*Cedrela odorata*) e o ipê (*Tabebuia* sp.) sem prática de manejo florestal, nem medidas conservacionistas para evitar danos ambientais. A exploração madeireira também é conhecida como vetor de desmatamento na Amazônia por financiar a remoção da cobertura florestal para outros fins como pecuária e agricultura.

Para Geist e Lambin (2002), assim como para Ewers e Laurance (2006), as causas do desmatamento na Amazônia já são bastante conhecidas por parte dos pesquisadores. No entanto, faz-se necessário que os tomadores de decisão acatem as recomendações oriundas das pesquisas, promovendo políticas públicas que equilibrem as relações socioeconômicas a fim de evitar prejuízos irreversíveis ao meio ambiente).

Neste contexto, os modelos de simulação se tornam úteis, melhorando a compreensão sobre as mudanças ocasionadas no ecossistema ao longo do tempo pelas atividades humanas. A modelagem ambiental possibilita identificar os fatores determinantes às atividades humanas de um determinado local (RENNÓ E SOARES, 2003), assim como, possibilitam projetar espacialmente os impactos das mudanças de uso e cobertura da terra, permitindo prever a intensidade, a localização e o período dessas mudanças (SOARES-FILHO et al., 2002).

Deste modo, para que se possa entender a trajetória do desmatamento em Apuí e propor medidas que auxiliem a conservação do remanescente florestal é necessário elaborar modelos explicitamente espaciais capazes de fazer projeções sobre o desmatamento futuro em diferentes cenários de uso da terra. A partir da construção destes cenários, é possível incluir em suas premissas aspectos sobre a legislação ambiental, tal como o cumprimento ao Código Florestal Brasileiro. E por sua vez, analisar o estado de conservação atual e prospectivo nas áreas de proteção permanente.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Analisar a dinâmica do desmatamento no Município de Apuí – AM e o estado de conservação das áreas de preservação permanente no período de 2009 a 2039 (30 anos) no cenário de referência (linha de base), considerando a tendência histórica de uso da terra.

2.2 ESPECÍFICOS

- a) Simular o desmatamento em Apuí por meio de um modelo espacialmente explícito;
- b) Elaborar um cenário referência de uso da terra denominado linha de base (BAU – *Business As Usual*) - simulará a tendência histórica do desmatamento;
- c) Analisar o estado de conservação atual e simulado das Áreas de Preservação Permanente (APP) em relação à largura dos cursos d'água, baseado no cumprimento do Código Florestal Brasileiro (1965)¹.

¹ Para este estudo, não foi utilizado o Código Florestal em vigor publicada no DOU dia 17 de outubro de 2012 (Lei 12.727), pois apesar de terem ocorrido mudanças no novo texto, às faixas de APP utilizadas permaneceram as mesmas, exceto para áreas consolidadas até 2008.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 USO E COBERTURA DA TERRA NA AMAZÔNIA

Desde a metade do século XIX, a Amazônia é alvo de políticas governamentais que têm influenciado na forma de sua ocupação. Ainda hoje, políticas governamentais de transferência de mão de obra voltada, direta ou indiretamente, para o aquecimento econômico da região; políticas de infraestrutura visando integrar a Amazônia à economia nacional e internacional; políticas de incorporação de terras indígenas ao mercado de terras; políticas de colonização agrícola dirigida, oficial e particular, voltadas para a ocupação e uso da terra, a partir da implantação de projetos de colonização; políticas de concessão de grandes glebas de terra e de incentivos fiscais a empresários para constituição de empresas agrícolas e pecuárias de grande porte, apoiadas na grande propriedade da terra, na monocultura e na produção extensiva; política de constituição de polos industriais; de pesquisa e estímulo financeiro e fiscal, destinadas a possibilitar a implantação de projetos de grande escala de exploração de recursos minerais e hídricos, têm posto frente a frente forasteiros e antigos moradores em disputa pelo direito de ocupação e uso da terra e dos recursos naturais. Isso sem levar em consideração as políticas de preservação da natureza e de reconhecimento territorial de grupos sociais – os povos e comunidades tradicionais reconhecidos atualmente - que produzem e reproduzem formas singulares de organização social e de apropriação e uso da terra e dos recursos naturais (LEAL, 2010).

A partir da década de 1960, a Amazônia recebeu investimentos em infraestrutura derivados de uma política de desenvolvimento para a região. Em especial, estradas começaram a ser construídas e viabilizaram processos de colonização em larga escala incentivados pelo governo, além disso, grandes projetos de mineração, hidrelétricas, expansão da pecuária e agricultura foram subsidiados também pelo governo militar da época (NEPSTAD et al., 2001), sendo esta fase caracterizada como a primeira fase de ocupação da Amazônia (MOUTINHO, 2006; 2009)

Entre os anos de 1988 a 2011 (Figura 2) observa-se que o desflorestamento teve um pico no ano de 1995 (29.059 km² de área desflorestada), evento este que pode ser reflexo da recuperação da economia brasileira através do então recém-criado Plano Real. Mas, em meados da década de 1990, como consequência dos efeitos do Plano Real sobre o índice de inflação, a taxa de desflorestamento foi reduzida com patamares entre 13 mil km²ano⁻¹ e 18 mil km²ano⁻¹, com os preços da terra atingindo o pico em 1995 e caindo quase 50%

ao final de 1997, o que fez da especulação de terra na Amazônia um negócio pouco atrativo (FEARNSIDE, 2005a).

Taxa de Desmatamento Anual na Amazônia Legal

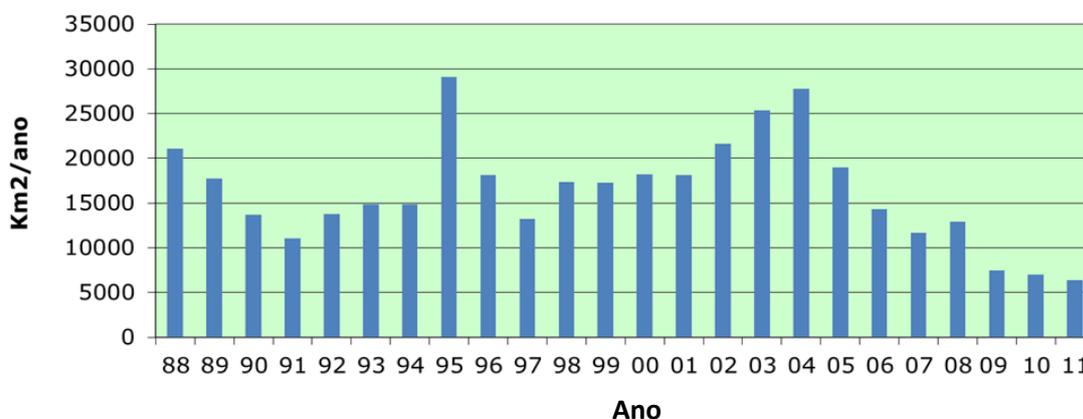


Figura 2. Taxa média do desmatamento na Amazônia Legal ($\text{km}^2 \text{ano}^{-1}$) para o período de 1988 a 2011. **Fonte:** (INPE, 2011).

Apesar das taxas de desmatamento na Amazônia terem caído após o ano de 1995, no início dos anos 2000 nota-se uma alta taxa nessa época mesmo com a economia brasileira sem vigor, o que levou a um percentual de desmatamento alcançando um aumento de 2,1% entre 2002 e 2003 (23.750 km^2) quando comparado ao período de 2000 a 2001. No ano de 2004 foi registrada a maior taxa da década em relação à série histórica, com cerca de 27.000 km^2 desflorestados, sendo a região sudeste Amazônia aquela a mais afetada. Este evento pode estar associado parcialmente ao crescimento da produção de soja no país acompanhada à produção bovina, o que caracteriza uma globalização das forças de desmatamento na região (FEARNSIDE, 2005a e 2006; NEPSTAD et al., 2007; SOARES FILHO et al., 2008;)

Segundo Alencar et al. (2004), assim como, Nepstad et al. (2006), atualmente a Amazônia se encontra numa segunda fase de ocupação que tem como característica o subsídio oriundo da exploração madeireira, do agronegócio e pecuária mesmo observada à baixa rentabilidade desta última. Apesar do volume de investimento do governo ser menor na atualidade, ainda nota-se a sua relevante contribuição através dos grandes projetos de desenvolvimento e investimento em infraestrutura na região amazônica, a exemplo do “Programa de Aceleração do Crescimento” – PAC (CARVALHO et al., 2001).

A redução das taxas de desmatamento ultimamente na Amazônia pode estar associada à queda de preços da soja e da carne bovina e uma taxa de câmbio desfavorável quando comparado o Real com o Dólar americano, tornando a exportação dos produtos da

agropecuária menos lucrativa. Atualmente a área desmatada da Amazônia é de 600.000 km² (15%) da cobertura vegetal original com uma taxa anual média de 17.000 km² registradas entre 1998 a 2010 (FEARNSIDE, 2010),

É evidente que o processo de modificação da Amazônia está ligado ao processo de ocupação humana como responsável pelas alterações da cobertura florestal, originadas pela exploração da madeira, uso da agricultura tradicional de corte e queima e pecuária extensiva entre outros (FERREIRA et al., 2007).

Estudar as mudanças ocorridas no uso da terra hoje na Amazônia denota um papel fundamental na pesquisa ambiental, pois estes estabelecem uma relação entre as atividades humanas e sistemas ambientais compreendidos nesta região. As alterações ocorridas na terra são expressas por uma complexa teia de relacionamentos contendo fatores biofísicos e socioeconômicos interagindo dentro do tempo e espaço a partir de um contexto histórico geográfico, traçando diferentes trajetórias de mudanças. Decisões que influenciam no uso da terra são tomadas nos diferentes níveis organizacionais da sociedade tais como indivíduo, família, comunidades, nações e grandes acordos comerciais de cunho internacional ambiental correspondendo à resposta da população dada às várias oportunidades econômicas mediadas pelos fatores impulsionadores de tais mudanças (LAMBIN, 2000; PIMENTA et al., 2008).

Os conceitos de uso e cobertura da terra apresentam similaridade, mas não se equivalem (TURNER et al., 1994). Cobertura se refere ao estado físico químico e biológico diretamente relacionado à superfície da terra. Já o uso, está relacionado ao que o homem tem como proposta de uso para a cobertura. Cobertura e uso da terra podem ser entendidos como a forma pela qual o espaço está sendo ocupado pelo homem ou preenchido pela cobertura natural (LORENA, 2003).

Dentro do processo de ocupação do espaço, é essencial o controle das formas de ocupação relacionadas ao uso da terra e seus recursos naturais. Conforme a necessidade é preciso, inclusive, a adoção de leis, neste caso representado como a lei 4.771/65 de 15 de setembro de 1965 que estabeleceu os primeiros critérios do que é comumente chamado de “Código Florestal Brasileiro”.

4.2 O CÓDIGO FLORESTAL BRASILEIRO

É vigente no Brasil o sistema de codificações em relação ao Direito Ambiental, porém, seus estudos e regulamentações são ainda fundamentados em leis esparsas, em algumas situações intituladas como códigos, tendo como um exemplo o Código Florestal (ORFANÓ, 2005). Dessa forma, o Código Florestal Brasileiro foi aprovado por meio do Decreto nº 23.793, de 23 de janeiro de 1934 (ORFANÓ, 2005 apud SAMPAIO, 2004). No artigo 3º desse código, as florestas eram classificadas como protetoras, remanescentes, modelo e de rendimento.

De acordo com Borges (2008) código de 1934 apresentava características preservacionistas onde o uso da propriedade da terra era estabelecido pela tipologia florestal existente contida na região específica. Com relação à distância que delimitava uma APP, principalmente em relação aos cursos d'água, somente existiam duas previsões, diferente do código de 1965, entretanto, era mais fácil aplicá-las e controlá-las (SAMPAIO, 2004).

Conforme a primeira versão do Código de 1934, não poderia haver cortes de vegetação em áreas de preservação permanente dentro de um raio de 6 km a partir das cabeceiras dos cursos d'água. Neste código era proibido também o corte de árvores em uma faixa de 20 m de área de preservação permanente de cada lado das estradas de rodagem.

Devido aos entraves políticos que o antigo código de 1934 enfrentou ao longo do tempo o que dificultou a sua implantação, foi elaborada uma nova proposta para um conjunto específico de Leis que abrangem a normatização adequada e proteção jurídica do patrimônio florestal do Brasil sendo sancionado, em 15 de setembro de 1965, “O Novo Código Florestal Brasileiro” através da edição legislativa da Lei nº 4.771 o que revogou o antigo código de 1934 (AHRENS, 2003).

O “Novo Código Florestal Brasileiro” - CFB (lei 4.771/65 de 15 de setembro de 1965), alterado recentemente, visava proteger não só as florestas, mas como também outras formas de vegetação natural, além dos solos, a água e entre outras riquezas ou recursos naturais do Brasil. No arcabouço do CFB foi instituída a Reserva Legal (RL) que tem por finalidade estabelecer um percentual de um imóvel rural obrigatoriamente coberto de vegetação natural com possibilidades de exploração através do manejo florestal sustentável. Além da RL, foram estabelecidas as Áreas de Preservação Permanente (APP), onde a sua necessidade é destinada à proteção dos aspectos mais sensíveis da

paisagem, como por exemplo, o solo e água que são de uso limitado (ELLINGER e BARRETO, 2011).

Segundo Borges (2008), o Código Florestal de 1965 enfatizou a criação de zonas de proteção ambiental, aperfeiçoando o antigo código de 1934. O código de 1965 declarou as florestas existentes no território nacional como bens de interesse comum a toda população, limitando o uso da propriedade rural por seus proprietários.

A Resolução Conama nº 303, de 20 de março de 2002, publicada no DOU nº 90, de 13 de maio de 2002, seção 1, página 68, define que De acordo com CFB estas áreas de proteção são definidas pelos seguintes artigos 2º e 3º:

***II - Área de Preservação Permanente:** área protegida pela Lei, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas;*

***III - Reserva Legal:** área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, excetuada a de preservação permanente, necessária ao uso sustentável dos recursos naturais, à conservação e reabilitação dos processos ecológicos, à conservação da biodiversidade e ao abrigo e proteção de fauna e flora nativas;*

Os conjuntos de diretrizes que estabelecem as APPs estão descritas artigo 2º do Código Florestal a seguir:

a) ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água desde o seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima foi: 1 - de 30 (trinta) metros para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura; 2 - de 50 (cinquenta) metros para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura; 3 - de 100 (cem) metros para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura; 4 - de 200 (duzentos) metros para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura; 5 - de 500 (quinhentos) metros para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros;

b) ao redor das lagoas, lagos ou reservatórios d'água naturais ou artificiais;

c) nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados "olhos d'água", qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 (cinquenta) metros de largura;

d) no topo de morros, montes, montanhas e serras; e) nas encostas ou partes destas, com declividade superior a 45°, equivalente a 100% na linha de maior declive;

f) nas restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues; g) nas bordas dos tabuleiros ou chapadas, a partir da linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100 (cem) metros em projeções horizontais; h) em altitude superior a 1.800 (mil e oitocentos) metros, qualquer que seja a vegetação;

i) Nas áreas metropolitanas definidas em lei, 15m, 30m, 50m e 100m.

Para as Reservas Legais (RL) as áreas de preservação foram estabelecidas conforme o Artigo 16 do Código distingue em:

I - oitenta por cento, na propriedade rural situada em área de floresta localizada na Amazônia Legal;

II - trinta e cinco por cento, na propriedade rural situada em área de cerrado localizada na Amazônia Legal, sendo no mínimo vinte por cento na propriedade e quinze por cento na forma de compensação em outra área, desde que esteja localizada na mesma microbacia, e seja averbada nos termos do § 7º deste artigo;

III - vinte por cento, na propriedade rural situada em área de floresta ou outras formas de vegetação nativa localizada nas demais regiões do País; e

IV - vinte por cento, na propriedade rural em área de campos gerais localizadas em qualquer região do País.

Na área de RL é permitido somente o uso de alguns recursos como a extração de produtos florestais (não madeireiros e madeireiros) e apicultura ou atividades que não promovam o corte raso da vegetação, assim se torna incompatível com a produção de soja, milho, cana de açúcar, e pecuária baseada em plantio de pastos. Essas restrições tornam o custo de oportunidade das RL mais alto principalmente nas áreas onde há aptidão agrícola tornando o interesse pela conservação reduzido em domínio privado, nessa situação. No caso das APP o uso é exclusivo para conservação e não é permitido nenhum tipo de exploração dos recursos e estando totalmente coberta por vegetação natural onde o principal objetivo é preservar os corpos d'água de sedimentação e poluentes (SPAROVEK et al., 2010).

De acordo com Sparovek et al. (2010), a não conformidade com o Código pode ter duas origens, uma é quando os produtores decidem voluntariamente não cumprir o que o código prevê em função da conservação das áreas de RL, desmatando áreas adicionais para aumento da área explorada na propriedade. Outro caso ocorre quando não é cumprida a lei mediante a condição de suas terras serem pequenas ou quando herdaram um passivo ambiental muito além do que sua propriedade em termos de renda permite executar ações necessárias à recuperação.

No final de década de 1990 foi proposto um Projeto de Lei (PL) 1.876/1999 que sugeriu alterações ao CFB de 1965. Esta proposta gerou um grande debate na sociedade, envolvendo diferentes setores, tais como, político, acadêmico e ambiental. Dentre as mudanças destacavam-se a diminuição das APP e o fim da obrigatoriedade de RL em propriedades que apresentam até quatro módulos fiscais.

De acordo com esta PL, em relação às APP, a faixa mínima correspondente às margens de rio, diminuiria de 30 para 15 metros. Os topos de morro e áreas com altitude superior a 1.800 metros de altitude deixariam de ser protegidas. Veredas passariam a ser consideradas APP. As demais áreas, embora continuassem sendo formalmente protegidas, poderiam ser ocupadas por plantações, pastagens ou construções caso tivessem sido desmatadas até 2008 e fossem consideradas pelos governos estaduais como “áreas consolidadas”. Desta maneira, áreas que por estarem irregularmente ocupadas sofreriam com enchentes, deslizamentos, assoreamento e seca de rios, são as mais fortes candidatas a serem consideradas como áreas consolidadas e, portanto, condenadas a conviver eternamente com esses problemas, já que não haverá recuperação e as ocupações permanecerão.

Comparando-se a RL do Projeto de Lei com a do CFB de 1965, nota-se que as propriedades com até quatro módulos fiscais² não precisariam mais recuperar a área desmatada se ocorrido o desmatamento até a promulgação da lei. Nas propriedades restantes deveria ocorrer a recuperação, mas o cálculo não assume a área total do imóvel, levando-se em consideração somente a área que excedesse os módulos fiscais. Se um imóvel possuir 10 módulos, a área a ser recuperada seria calculada sobre apenas seis módulos.

Além das mudanças no funcionamento das APP e RL, ainda haveria a anistia para quem desmatou. Na nova proposta do PL, os estados teriam cinco anos (dado o momento de publicação da lei) para criar programas de regularização. Dentro deste período, não poderá haver multas e foram suspensas as multas já efetuadas. Aos que forem regularizados podem ser dispensados definitivamente do pagamento e da recuperação das áreas ilegalmente desmatadas até a data da homologação do novo CFB.

²Os módulos fiscais na Amazônia variam de tamanho conforme o município em que estão inseridos, mas conforme legislação é de 10 ha a 100 ha.

Segundo Ellinger e Barreto (2011), o Código Florestal tem sido amplamente desrespeitado e ainda é foco de muitos debates a respeito de sua própria revisão sendo os mesmos debates renovados pelo aumento da fiscalização ambiental e dentre os fatores de descumprimento do Código, está à morosidade da justiça, até então a pouca fiscalização a falta de incentivos econômicos e a própria cultura de descumprimento da lei no país.

4.2.1 O “NOVO” CÓDIGO FLORESTAL BRASILEIRO

Nos últimos anos houve uma discussão sobre os fundamentos científicos do Código Florestal Brasileiro de 1965. Vários autores como Sparovek et al. (2010), Metzger (2010), Ellinger e Barreto (2011) tentaram demonstrar que o CFB de 1965 não havia sido elaborado com uma base científica ampla no que tange a determinação das concessões de uso e delimitação das áreas de conservação relacionadas à APP e RL.

Uma das questões de destaque na proposta do Projeto de Lei 1.876, se refere à regularização ambiental denominando Programa de Regularização Ambiental (PRA), relacionado ao uso consolidado de áreas consideradas inapropriadas segundo o Código de 1965.

O PRA é o mecanismo pelo qual, através de estudos técnicos, são indicadas as condições para consolidação de áreas bem como as que deverão ser recuperadas pelos Estados que deverão apresentar as propostas dos programas de regularização ao Governo Federal. Para execução do PRA é observado, no que diz a respeito à APP, que “O programa de recuperação ambiental” poderá regularizar as atividades em área rural consolidada, definindo formas de compensação. Para a reserva legal, caso o PRA estabeleça sua recomposição, permite fazê-lo de três “formas”:

- a) Recomposição na propriedade: prazo inferior a 20 anos (1/10 a cada dois anos), podendo usar até 50% de espécies exóticas intercaladas com nativas;
- b) Recuperação natural;
- c) Compensação: aquisição de cota de reserva ambiental, arrendamento de área sob regime de servidão, doação de área em unidade de conservação, contribuição para fundo público para regularização fundiária de UC.

Quanto às faixas de distância mínima ou máxima se comparando ao código vigente, nota-se que não há grandes alterações já vetadas inclusive pelo Governo Federal todas as propostas feitas, neste caso observa-se que as distancias ficariam dispostas desta forma citadas no capítulo II do código em aprovação:

Seção I

Da Delimitação das Áreas de Preservação Permanente

Art. 4º Considera-se Área de Preservação Permanente, em zonas rurais ou urbanas, pelo só efeito desta Lei:

I – as faixas marginais de qualquer curso d’água natural, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de:

a) 30 (trinta) metros, para os cursos d’água de menos de 10 (dez) metros de largura;

b) 50 (cinquenta) metros, para os cursos d’água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;

c) 100 (cem) metros, para os cursos d’água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;

d) 200 (duzentos) metros, para os cursos d’água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;

e) 500 (quinhentos) metros, para os cursos d’água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros de largura;

Para as Reservas Legais são estabelecidos os seguintes parâmetros conforme o Artigo 16 do Código caso aprovado:

Da Delimitação da Área de Reserva Legal

Art. 12. Todo imóvel rural deve manter área com cobertura de vegetação nativa, a título de Reserva Legal, sem prejuízo da aplicação das normas sobre as Áreas de Preservação Permanente, observando os seguintes percentuais mínimos em relação à área do imóvel:

I – localizado na Amazônia Legal:

a) 80% (oitenta por cento), no imóvel situado em área de florestas;

b) 35% (trinta e cinco por cento), no imóvel situado em área de cerrado;

c) 20% (vinte por cento), no imóvel situado em área de campos gerais;

II – localizado nas demais regiões do País: 20% (vinte por cento).

Neste caso observa-se que em linhas gerais tanto o antigo quanto o novo código permanecem estabelecendo a mesma conduta de delimitação de áreas de preservação permanente e reserva legal. Porém, no que se refere à consolidação de áreas de uso e inadequadas e a recuperação de áreas degradadas, as abordagens são diferenciadas, principalmente com relação ao PRA mecanismo de regularização adotado no novo CFB.

4.2.2 CÓDIGO FLORESTAL EM VIGOR (LEI 12.272/2012) E OS VETOS DO GOVERNO FEDERAL À PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DO CÓDIGO.

A Lei No. 12.727, publicada no Diário Oficial da União no dia 17 de outubro de 2012, altera o Novo Código Florestal (1965), modificando e revogando diversas leis. Neste item serão comentadas as principais mudanças em relação ao Código Florestal de 1965 (Lei 4.771) focando as regras estabelecidas no que se refere às áreas de APPs e Reserva Legal.

Em síntese, o CFB em vigor, manteve para a delimitação das APPS, as mesmas dimensões nas marginais dos cursos d'água previstas no CFB de 1965, modificando apenas o nível de referência da delimitação das faixas em relação à borda do rio que passa a ser “a borda da calha do leito regular” e não mais o nível máximo do curso d'água.

A lei atual define também a regularidade dos cursos d'água, que passam a ser considerados apenas os cursos d'água naturais perenes e intermitentes, sendo excluídos os efêmeros. O novo texto mantém como APPs todas as demais áreas de proteção previstas na lei anterior de 1965, tais como nascentes, topos de morro, veredas, reservatórios d'água, manguezais e suas respectivas delimitações de proteção.

Quanto à reposição florestal em áreas de APPs, a lei 12.727, Artigo 61-A, estabelece um escalonamento, de acordo o tamanho do módulo fiscal, para a reposição em áreas consolidadas (desmatadas), até 22 de julho de 2008, que possuam, exclusivamente, atividades agrossilvipastoris, de ecoturismo e de turismo rural. De modo que, para imóveis rurais com áreas de até um módulo fiscal que possuam áreas consolidadas em APPs ao longo de curso d'água naturais, será obrigatória a recomposição das respectivas faixas marginais em cinco metros, contados da borda da calha do leito regular, independentemente da largura do curso d'água. Para imóveis rurais, superior a um módulo fiscal e até dois módulos fiscais essa faixa passa ser de oito metros, também, independente da largura do curso d'água. Aqueles superiores a dois módulos fiscais e de até quatro módulos fiscais, a faixa será de 15 metros, independente, também, da largura dos cursos d'água. Acima de quatro módulos fiscais todos os imóveis que possuam área consolidadas em APP ao longo dos cursos d'água serão obrigados a recompor as respectivas faixas marginais, e nos demais casos, conforme a determinação do Programa de Recuperação Ambiental (PRA), observado o mínimo de vinte e o máximo de 100 metros, contados da borda da calha do leito regular.

Paras as áreas rurais consolidadas em APPs em torno de nascentes e olhos d'água perenes, fica obrigatória a recomposição do raio mínimo de quinze metros.

A Lei 12.727, em seu Artigo 61-B, garante aos proprietários de imóveis rurais que possuíam até 10 módulos fiscais, em 22 de julho de 2008 com desenvolvimento de atividades agrossilvipastoris em áreas consolidadas em APPs que a exigência de recomposição, somadas todas as áreas de APPs do imóvel não ultrapassará:

- I- Dez por cento das áreas total do imóvel, para imóveis rurais com área de até dois módulos fiscais.
- II- Vinte por cento das áreas total do imóvel, para imóveis rurais com área superior a dois e de até quatro módulos fiscais.

Em relação às áreas de Reserva Legal, a Lei em vigor mantém os mesmos percentuais mínimos em relação à área do imóvel, conforme a localização:

I - localizado na Amazônia Legal:

- a) 80% (oitenta por cento), no imóvel situado em área de florestas;
- b) 35% (trinta e cinco por cento), no imóvel situado em área de cerrado;
- c) 20% (vinte por cento), no imóvel situado em área de campos gerais;

II - localizado nas demais regiões do país: 20% (vinte por cento).

Os vetos realizados pela Presidência da República no projeto de Lei de Conversão No. 21 (MP No. 571/12), alteram a Lei No. 12.651 de maio de 2012 nos dispositivos relacionados às várzeas (art. 4º, §9º); cômputo de APP e RL (art.15, §4º, inciso II); reflorestamento com árvores frutíferas (art.35, §1º); implantação do PRA (art.59, §6º) e dos parâmetros para a recomposição de APP em áreas consolidadas (art. 61-A, incisos I, V e §18; e art. 61-B, inciso II).

Entres esses vetos podem-se destacar aqueles relacionados com as APPs e Reservas Legais, como a seguir:

O Artigo 15 foi vetado parcialmente em seu parágrafo 4º, inciso II – Este Artigo trata do cômputo das áreas de APPs e RLs para fins de cálculo do percentual da Reserva Legal do imóvel. O inciso II, permitiria o cômputo das APPs no cálculo da Reserva Legal, mesmo que isso implicasse na conversão de novas áreas para o uso alternativo do solo. Isso, no caso de imóveis em que as APPs somadas às demais florestas e outras formas de

vegetação nativa existente ultrapassassem 50% da área total em imóveis localizados fora da Amazônia Legal. Desta forma, permanece o inciso I do Parágrafo 4º, que permite a supressão de novas áreas de vegetação nativa, quando as APPs somadas às demais vegetações nativas ultrapassarem 80% do imóvel para aqueles localizados em áreas de floresta na Amazônia Legal.

Em relação ao Artigo 61-A, foi vetado o inciso I do parágrafo 4ª, - este inciso previa que os cursos d'água com até dez metros de largura em imóveis com área superior a quatro módulos fiscais e até 15 módulos fiscais, a recomposição da vegetação nativa seria feita em uma faixa de 15 metros, a partir da borda da calha do leito regular. Pela atual lei que regulamenta o PRA, os imóveis com área superior a quatro e de até dez módulos fiscais devem recompor, no mínimo, 20 metros de vegetação a partir da borda da calha do leito regular.

Ainda sobre a recomposição das APPs neste mesmo Artigo, no Parágrafo 18, estabelecia que, em áreas consolidadas, os cursos d'água intermitentes de até dois metros de largura deveriam ter a recomposição obrigatória nas respectivas faixas marginais em cinco metros para qualquer dimensão de módulo fiscal.

Por fim, o Artigo 61-B, inciso III- permitia que, proprietários e possuidores de imóveis rurais que detinham até dez módulos fiscais e desenvolviam atividades agrossilvipastoris em áreas consolidadas localizadas em APPs, em 22 de julho de 2008, a reposição, nos termos da lei, somadas todas as APPs do imóvel, não ultrapassaria 25% da área total do imóvel. Desde que os imóveis rurais possuíssem área superior a 4 módulos fiscais e até 10 módulos fiscais, excetuados aqueles localizados em áreas de floresta na Amazônia Legal. Porém, os incisos foram incluídos os incisos I e II, que normatiza o percentual a ser recomposto para imóveis até 4 módulos fiscais.

I - 10% (dez por cento) da área total do imóvel, para imóveis rurais com área de até 2 (dois) módulos fiscais;

II - 20% (vinte por cento) da área total do imóvel, para imóveis rurais com área superior a 2 (dois) e de até 4 (quatro) módulos fiscais.

4.3 O SISTEMA NACIONAL DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO - SNUC

Segundo Milano (2008) e Freitas (2010), um Sistema de Unidades de Conservação deve ser um conjunto organizado de áreas protegidas capaz de viabilizar os objetivos nacionais

de conservação e que, para isso, é fundamental que seja planejado, manejado e gerenciado como um todo. Até a década de 1970 as UCs criadas não seguiam critérios técnico-científicos e nem a ideia de um sistema (FREITAS, 2010). De acordo com o mesmo autor, houve no final da década de 1970, início da década de 1980 uma primeira tentativa de organizar um Sistema de Unidades de Conservação pelo instituto IBDF (Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal) autarquia do Governo Federal até então responsável por isso, mas não sendo legisladas neste período.

Somente em junho de 2000 foi instituído o SNUC (Sistema Nacional de Unidades de Conservação) pelo decreto de Lei Federal nº 9.985 onde este prevê atualmente, os critérios para estabelecimento e manutenção de unidades de conservação no país determinando que as unidades de conservação sejam definidas como no Inciso I, do Art. 2º

“Espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção”

O SNUC é gerido pelo CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente) definido pelo Ministério do Meio Ambiente é composto por todo o conjunto de UCs federais, estaduais e municipais em conformidade com os critérios estabelecidos pela lei federal 9.985.

Apuí hoje possui uma grande área (25.000 km²) de unidades de conservação localizada ao Sul do município que perfazem quase a metade de sua área total (54.000 km²).

4.3.1 MOSAICO DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DE APUÍ

O mosaico de Unidades de Conservação de Apuí é constituído por nove unidades de conservação onde, seis são de uso sustentável e mais três são parques estaduais de proteção integral, e compreendendo uma área de proteção ambiental de 2,5x10⁶ ha. É considerado de grande relevância para a conservação ambiental por formar uma barreira ao avanço do desmatamento impulsionado por fatores como a expansão da soja, da pecuária e grilagem da terra que vêm, especialmente, do norte do Mato Grosso em direção ao Estado do Amazonas. Além disso, a sua importância também se dá na conservação da biodiversidade e manutenção do estoque de carbono nas florestas da região (SDS, 2006).

Este mosaico de unidades de conservação tem como peculiar a sua localização geográfica que abrange características diferentes das outras UCs do estado tais como, a localização na interface entre as províncias geológicas da Bacia do Solimões e do Escudo Brasileiro, incorporando rochas e unidades geomorfológicas dessa última, onde também predominam espécies e fitofisionomias típicas das florestas e savanas do Brasil Central. Além disso, o Mosaico fica no interflúvio Madeira-Tapajós, que é uma região biogeográfica para diversos grupos de organismos como plantas, aves e primatas (CEUC, 2010).

As unidades estaduais de conservação que compõem o mosaico são:

- Parque Estadual do Guariba (105543,7 ha.);
- Reserva de Desenvolvimento Sustentável Bararati (107665,4 ha.);
- Reserva Extrativista do Guariba (105543,7 ha.);
- Parque Estadual do Sucunduri (787510,5 ha.);
- Floresta Estadual do Sucunduri (480708,5 ha.);
- Floresta Estadual do Aripuanã (327630,3 ha.);
- Floresta Estadual do Apuí (180614,9 ha.);
- Reserva de Desenvolvimento Sustentável Aripuanã (218798,8 ha).

As unidades federais de conservação que estão situadas em Apuí são:

- Flona do Jatuarana (584572,6 ha)
- Parte do Parque Nacional do Juruena (633521,5 ha)

Os principais objetivos das UC, segundo o CEUC (2010) são:

- Melhorar a qualidade de vida das populações residentes na área;
- Controlar desmatamentos e grilagem de terras;
- Promover ações de cidadania;
- Incentivar o manejo comunitário e captar recursos financeiros para apoio técnico às comunidades.

O Estado do Amazonas atualmente possui 27% de seu território protegido por Unidades de Conservação, incluindo as federais (15%) e estaduais (12%), totalizando 42,3 milhões de hectares (SDS, 2011). As unidades de conservação presentes em Apuí perfazem uma superfície de 3,5 milhões de hectares o que equivale a 8,3% da superfície recoberta por unidades de conservação do Amazonas (Figura 3),

Das dez unidades de conservação presentes no município, sete são de uso sustentável (seis unidades estaduais e uma unidade federal) que, segundo Vitel (2009a), apresentam uma maior vulnerabilidade em conter o desmatamento comparando-se as unidades de proteção integral. Porém, apesar da vulnerabilidade das UCs de uso sustentável há um aspecto positivo por parte de sua implantação, pois estas favorecem o estabelecimento de atividades econômicas no que se diz respeito aos moradores que já habitam tradicionalmente nestas áreas.

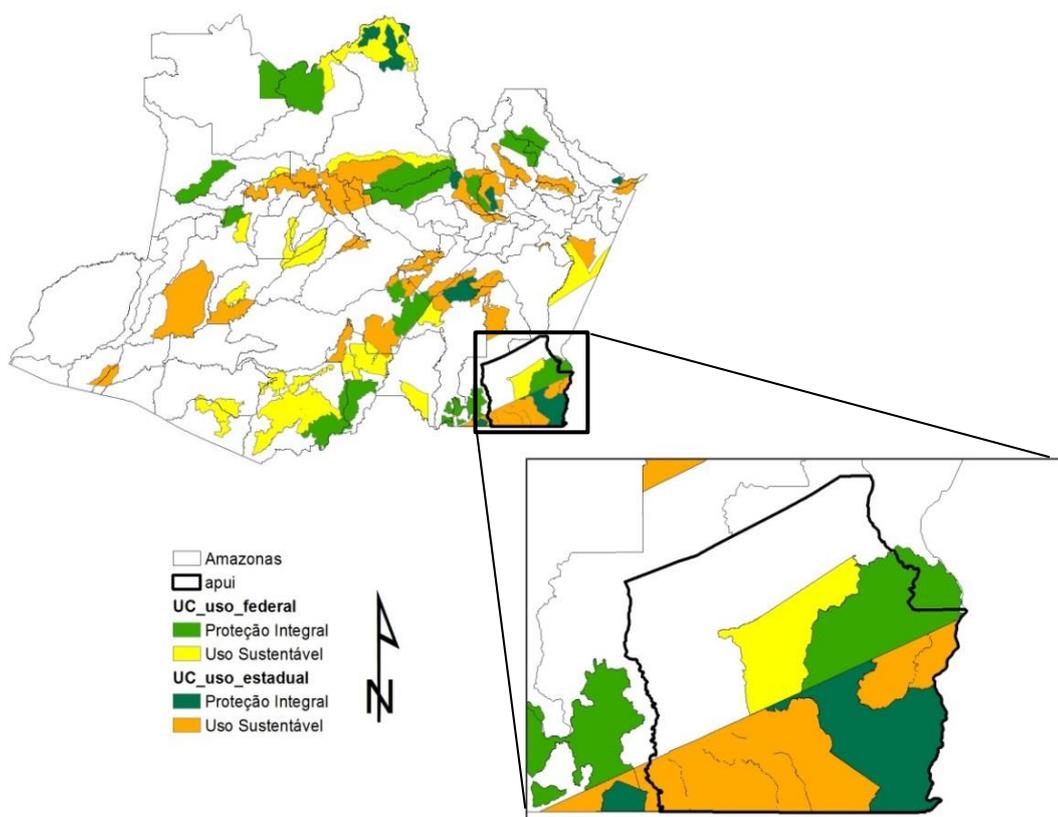


Figura 3: Unidades de conservação federal e estadual no município de Apuí, Amazonas, segundo categoria de uso e nível administrativo.

4.4 MODELOS DE USO DA TERRA – PRINCIPAIS MODELOS ESPACIAIS UTILIZADOS NA AMAZÔNIA

No que se refere aos modelos de uso da terra, estes são a representação formal de uma teoria que usa instrumentos de lógica da teoria estabelecida e da matemática. Eles podem ser uma teoria, uma lei, uma hipótese, uma ideia estruturada, uma relação, uma função, uma equação, uma síntese de dados ou argumentos do mundo real (CHORLEY e HAGGET, 1967). Por sua vez, a modelagem é um processo constituído de uma série de etapas com o intuito de converter uma ideia em um modelo conceitual (JACKSON et al., 2000).

De acordo com Steyaert (1993), todo modelo computacional que é capaz de simular processos espaciais servem de base para avaliação quantitativa e confiável de questões intrínsecas sobre o ambiente dentro do âmbito de análises locais, regionais e globais, dependendo da concordância existente entre o que é observado no mundo real e o resultante da modelagem, o modelo pode ou não ser aceito ou modificado de alguma forma para ser testado novamente (SOARES-FILHO, 1998).

Soares-Filho (1998) aborda ainda que a modelagem se refere a uma etapa de construção de modelos, ao procedimento de pesquisa condutivo ao modelo, ou seja, à representação de um sistema complexo. Este processo consiste em definições de hipóteses ou predições que serão comparadas com medidas do mundo real, sendo assim o modelo aceito, rejeitado ou modificado somente após comparação entre o resultado gerado e o observado onde foi novamente testado.

A modelagem dinâmica procura transcender as limitações atuais vinculadas às tecnologias comumente utilizadas para este fim como o geoprocessamento, fortemente baseadas em uma visão estática e bidimensional do mundo (TRENTIN e FREITAS, 2010). Um modelo espacial dinâmico é uma representação matemática de um processo do mundo real em que a localização sobre a superfície da terra condiciona as respostas em suas forças direcionadoras (BURROUGH, 1998).

Modelos de uso da terra podem ser considerados ferramentas avaliadoras de impactos através da construção de cenários e fornecem uma alternativa na demanda dos processos de tomada de decisão. Na literatura, nota-se que há um grande número de modelos sendo utilizados na atualidade (BRIASSOULIS, 2001; PARKER et al., 2001; VERBURG,

2006). A seguir serão descritos os principais modelos utilizados para Amazônia na atualidade.

4.4.1 MODELO DE LAURANCE et al.(2001)

Laurance et al. (2001) simularam um cenário de desmatamento dentro do período de 2000 a 2020 para a Amazônia Legal. Para este modelo foi utilizada uma taxa histórica de desmatamento e sua expansão baseada na relação entre rodovias construídas e proximidade com áreas desmatadas, com o objetivo de auxiliar nas políticas públicas da época, o que incluía os efeitos do programa “Avança Brasil” que visava a melhoria da infraestrutura de estradas.

A concepção do modelo foi dada por um Sistema de Informação Geográfica (SIG) que utilizou relações simples entre proximidade de estradas e desmatamento na região. Foram elaborados, dois cenários para Amazônia Legal onde, um era fundamentado na extensão de áreas degradadas e nos projetos de infraestrutura planejados da região e, outro foi fundamentado no impacto estimado sobre áreas protegidas. Os modelos deste trabalho que, incluem estradas planejadas, indicaram que até 2020 a Amazônia seria desmatada em 28% da sua área sendo considerado este o cenário “otimista” e 42% no cenário “não otimista” onde as obras de infraestrutura planejadas seriam responsáveis pelo aumento 2.690km²/ano dentro do cenário “otimista” e 5.600 km² no cenário “não otimista” (Figura 4 a e b).

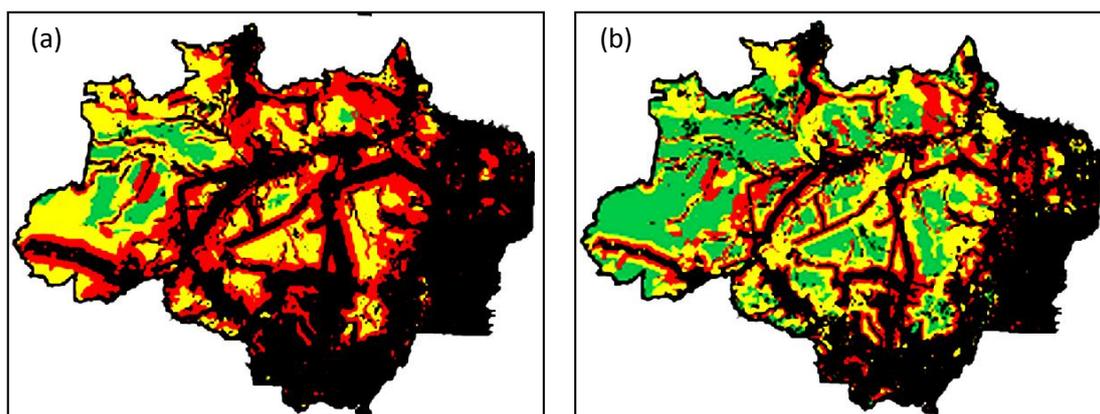


Figura 4: Cenário não otimista e otimista representado por áreas altamente degradadas (preto), áreas com degradação moderada (vermelho), áreas com baixa degradação (amarelo), floresta intacta (verde).

Fonte: Adaptado de Laurance et al. (2001)

4.4.3 MODELO DE AGUIAR (2006)

Para este trabalho de modelagem foi utilizado o programa CLUE-S (Conversion of Land Use and its Effects) desenvolvido pela Universidade Wageningen, na Holanda, explorando como fatores alternativos, políticas públicas e condições de mercado que influenciam no processo de ocupação da Amazônia. Teve como objetivo principal explorar as diferenças inter-regionais dos fatores determinantes de uso da terra entre 1997 a 2020 (FEARNSIDE et al., 2009; YANAI, 2010).

Os modelos baseados no CLUE são capazes de reproduzir o espaço do local do desmatamento levando em conta algumas variáveis como distância até mercados, distância até estradas, qualidade de solos e status regional como áreas protegidas (VELDKAMP et al., 2001; KOK, 2001; VERBURG, et al., 2002; FEARNSIDE et al., 2009). Com relação às restrições deste modelo, observa-se que a modelagem feita pelo CLUE segue uma trajetória fixa ao longo do tempo, limitando a predição da simulação. Para Fearnside et al. (2009) e Yanai (2010), um fator limitante à modelagem no CLUE-S é a impossibilidade de representar a influência de políticas públicas, a exemplo de construção de estradas e criação de áreas protegidas, pois não são capazes de alterar a demanda de desmatamento ao longo da simulação. Embora tais fatores estejam presentes no modelo, isto só mudará a distribuição espacial do desmatamento e não a sua extensão total, ou seja, a criação de uma reserva resultaria em 100% de “vazamento” do desmatamento evitado dentro da área da reserva criada que seria deslocado para outro local (FEARNSIDE et al., 2009).

O modelo de Aguiar (2006) difere do modelo de Laurence et al. (2001) pelo tipo de demanda por desmatamento considerado. Ao contrário de Laurence et al. (2001) que a demanda é calculada com base na expansão da malha viária e no efeito das áreas protegidas sobre o desmatamento, Aguiar (2006) expressa a demanda considerando a pressão do mercado. Ou seja, a demanda por desmatamento é regulada considerando a influência, tal como, do agronegócio (preço da soja, gado bovino, entre outros) gerado pelo mercado interno e externo.

4.4.4 MODELO DE SOARES-FILHO et al. (2006)

Soares-Filho et al (2006) desenvolveram o SIMAZONIA I utilizando a plataforma de modelagem espacial denominada DINAMICA que simulava a distribuição espacial do desmatamento (SOARES-FILHO et al., 2002; SOARES-FILHO et al., 2003; SOARES-

FILHO et al., 2004). A plataforma de modelagem do DINAMICA, permite que a taxa anual do desmatamento seja estimada por meio do acoplamento com outra plataforma de modelagem não espacial, denominado VENSIM (VENTANA, 2011). O VENSIM é permite que indicadores socioeconômicos, tais como o Produto Interno Bruto (PIB) ou taxa de migração, sejam considerados nos cálculos para estimar a taxa de desmatamento a ser utilizada na simulação. A taxa de desmatamento estimada no VENSIM é repassada ao DINAMICA que determina onde é alocado o desmatamento por meio de pesos de evidência para cada célula na grade ou imagem representativa de onde a paisagem foi desmatada.

A probabilidade de ocorrência do desmatamento é determinada considerando as relações calculadas a partir de mapas representando variáveis ambientais que determinam a probabilidade de desmatar, tais como distância às estradas, tipo de solo, áreas protegidas, distância a mercados, desmatamento existente entre outras características associadas ao estímulo dado ao desmatamento (SOARES-FILHO et al., 2006; FEARNSIDE et al., 2009).

Na simulação de Soares et al. (2006) foram elaborados cenários de governança, “Business as Usual” (BAU ou Linha de base) e também cenários intermediários. No cenário otimista considerou-se uma tendência histórica do desmatamento e o gradativo aumento de governança (assume que a rede de áreas protegidas foi expandida, como proposto pelo Programa de Áreas Protegidas da Amazônia (ARPA), sendo assegurada a proteção integral das áreas protegidas, onde os vários segmentos da sociedade aliados ao Estado exercem uma importante função no uso de forma correta e sustentável dos recursos naturais.

Para este estudo o cenário BAU teve como premissa a tendência histórica sem efetivo controle das “forças direcionadoras” do desmatamento, sendo que os cenários intermediários foram configurados com medidas governamentais de mitigação incorporados ao cenário BAU (SOARES-FILHO et al., 2004)

Os resultados deste modelo previram que, no cenário BAU, seriam removidos cerca de 40% da cobertura florestal em relação à bacia Amazônica e 50% para a Amazônia legal até 2050. Outro fator importante foi que este modelo indicou que a pavimentação das estradas poderia gerar um desmatamento em torno de 250.000 km², com setores da Amazônia legal como no entorno de Manaus, trajetos em direção a Rondônia via BR-319 e Roraima e proximidades com a rodovia Transamazônica (BR-230).

No cenário de governança deste modelo foi demonstrado que, mesmo considerando os projetos de pavimentação, a expansão das áreas de proteção reduziria o desmatamento em aproximadamente 62% para Amazônia Legal, e em 55% para toda a bacia Amazônica. Para o desmatamento dentro cenário BAU, observa-se um o aumento de áreas de proteção em 41% na Amazônia Legal, mas que sem a sua efetiva implementação, seriam capazes de reduzir o desmatamento somente em torno de 7% até 2050. Contudo, se fosse considerado a fiscalização ambiental mais eficaz o desmatamento seria reduzido em torno de 30%. Consequentemente, a efetiva implantação das áreas de proteção e o aumento da fiscalização de forma mais ostensiva, seriam capazes de reduzir pela metade o desmatamento atribuído ao cenário de governança (Figura 5 a e b).

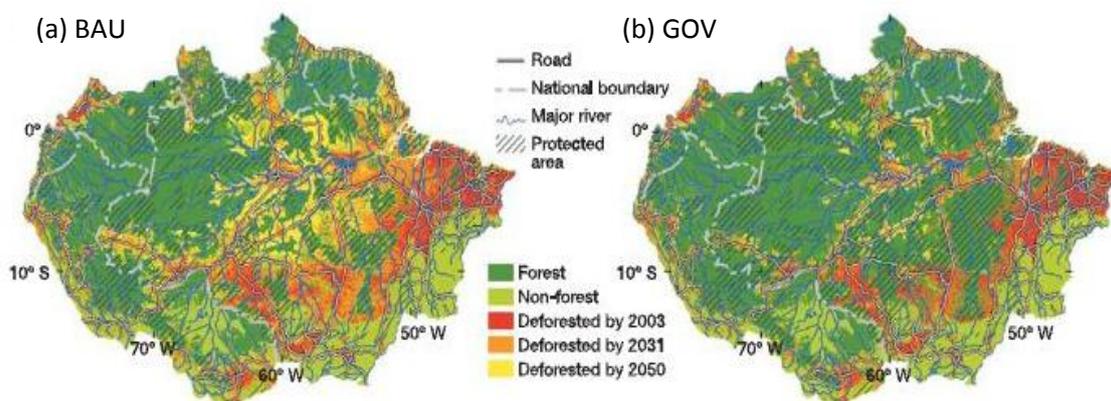


Figura 5: Resultado dos cenários obtidos pelo SIMAMAZONIA (a) cenário linha de base considerado não otimista não levando em consideração o Programa ARPA e (b) cenário de governança considerando o Projeto ARPA.

4.4.5 MODELO DE FEARNSIDE et al. (2009)

A ênfase neste trabalho foi dada sobre o desmatamento e as emissões de gases de efeito estufa, no período de 2007 a 2050, na Área sob Limitação Administrativa Provisória da rodovia BR-319 (ALAP 319), localizada no interflúvio dos rios Madeira-Purus.

O objetivo principal foi simular o efeito da reconstrução e asfaltamento da BR 319 na perda da cobertura florestal na área de influência desta rodovia. Para tanto, foi elaborado um modelo denominado AGROECO, desenvolvido a partir das ferramentas de modelagem do DINAMICA EGO, possibilitando a acoplagem de um modelo não espacial elaborado utilizando o *software* VENSIM.

O DINAMICA EGO é uma atualização da versão anterior do *Software* DINAMICA, utilizado no modelo SIMAMAZONIA I de Soares-Filho et al (2006) que, atualmente,

utiliza este mesmo arcabouço de ferramentas para modelagem a espacial no SIMAMAZONIA II (RODRIGUES et al., 2007).

No modelo AGROECO, foram construídos dois cenários, BAU e de Conservação. No cenário BAU foram consideradas as áreas de proteção ambiental existentes em 2007, assim como, o efeito da reconstrução e asfaltamento da BR-319 seguindo uma tendência histórica do desmatamento. Em ambos os cenários, BAU e de Conservação, não foi considerado o desmatamento no interior das áreas protegidas, ou seja, UC e TI. No cenário de Conservação, além das UC estabelecidas até 2007, foram consideradas as UCs propostas pela ALAP (FEARNSIDE et al., 2009).

No modelo AGROECO as taxas de desmatamento são calculadas partir da superfície fundiária caracterizada por uma faixa de 2 km (*buffer*) de distância da estrada que modifica a atividade agrícola que é repassada para o VENSIM. Em seguida, o módulo numérico do VENSIM faz o cálculo de demandas relacionadas a cada tipo de uso da terra disponibilizando-as para rotina de cálculo de alocação do desmatamento do DINAMICA EGO, levando em consideração efeito da expansão e pavimentação de estradas (Figura 6).

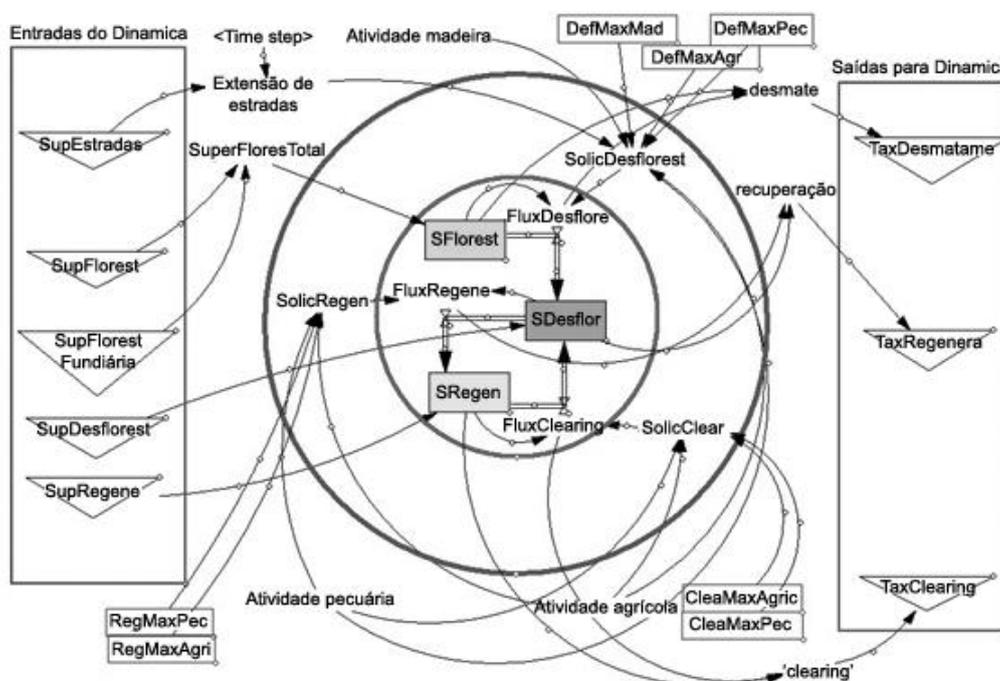


Figura 6: Esquemática do modelo numérico elaborado em VENSIM. O módulo principal de cálculo e os módulos de transferência das variáveis localizados no centro da figura; à esquerda, a entrada de variáveis iniciais do DINAMICA no modelo não espacial e, à direita, a saída das taxas para o modelo espacial.

Fonte: Adaptado de Fearnside et al. (2009)

A partir do cenário BAU do AGROECO, o desmatamento projetado em 2050 atingiria um patamar de 38% (Figura 7a) na área de floresta original da ALAP e no cenário de conservação observou-se que o desmatamento alcançaria 25% (Figura 7b) da mesma área até 2050.

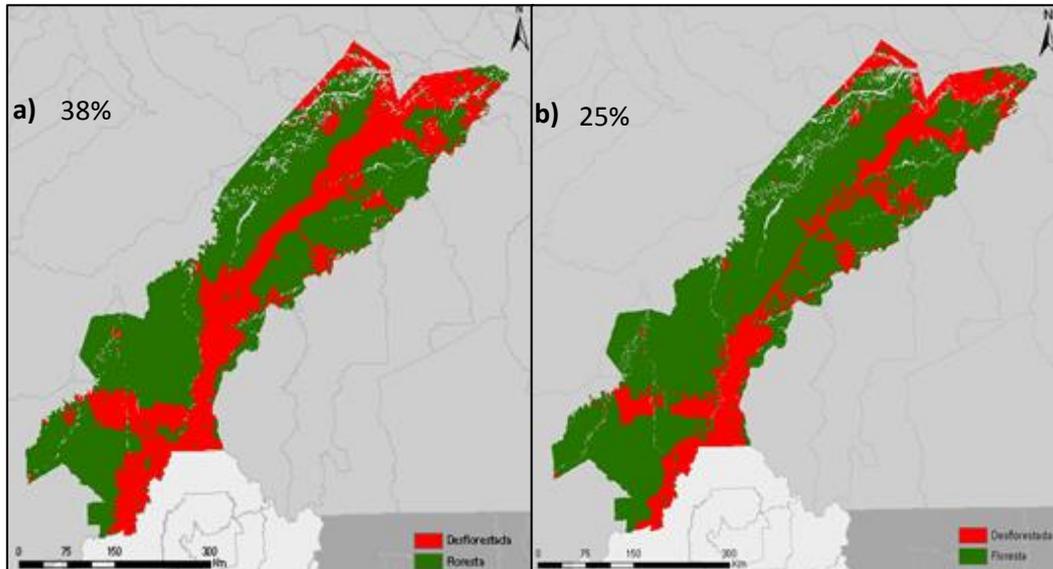


Figura 7: Cenários BAU “Business As Usual” (a) e Conservação (b) simulados. A área em vermelho demonstra o aumento do desmatamento na região da ALAP.

Fonte: Fearnside et al. (2009)

Além da perda de cobertura florestal, foram calculadas taxas de emissão de carbono a partir do cálculo da biomassa florestal da área. As estimativas derivadas do BAU para emissão de carbono demonstram que seriam liberadas 0,95 bilhão de toneladas enquanto que no cenário de conservação, que indica uma taxa de redução do desmatamento em 1,6 milhões de hectares, estimou-se que a emissão seria de 0,31 bilhão de toneladas de carbono.

Comparado ao modelo de AGUIAR (2006), a diferença entre os modelos se dá em nível de cálculo de taxas de desmatamento que, no caso do CLUE-S, a trajetória do desmatamento é fixa e, para o AGROECO, o cálculo das taxas de desmatamento é feito externamente no VENSIM de acordo com as variáveis não espaciais permanecendo flutuantes (YANAI 2010).

4.4.6 MODELO DE YANAI et al. (2012)

Yanai et al.(2012) utilizaram o modelo de simulação de desmatamento AGROECO (FEARNSIDE et al., 2009) para simular o efeito da criação da RDS (Reserva de Desenvolvimento Sustentável) do Juma em um período de 42 anos (2008 a 2050) a partir

das mesmas ferramentas de modelagem espacial do DINAMICA EGO acopladas ao *software* VENSIM (FEARNSIDE et al., 2009; SOARES-FILHO et al., 2009).

A área focal compreendeu os limites da RDS do Juma localizada no município de Novo Aripuanã (AM) e seu entorno, delimitado por um *buffer* de 120 km. O intuito de utilizar o *buffer* foi à inclusão de municípios circunvizinhos, como Apuí e Manicoré (AM), também as rodovias AM-174 e trechos da BR-319 e BR-230 que possuem influência no processo de ocupação na região da reserva do Juma.

Para o modelo da RDS do Juma, o cenário linha de base não considerou a existência da mesma e o desmatamento seguiu com a tendência histórica. Como aperfeiçoamento do AGROECO, Yanai et al., (2012) elaboraram dois cenários paralelos denominados “Cenários de Vazamento” (CV) e “Vazamento Reduzido” (CVR). No CV foram considerados a RDS do Juma e a simulação do vazamento decorrente da sua criação; no CVR a RDS do Juma também foi considerada e a taxa de vazamento foi reduzida com base na taxa de vazamento estimada a partir do CV.

Como resultado obtido, a simulação demonstrou que na área de estudo ocorreria uma redução de 14.695,1 km² (16%) na cobertura florestal até 2050 no cenário linha de base. Nos cenários onde foi considerada a RDS, essa redução para o CV seria de 14.647,3 km² (15,9%) e no CVR a redução seria de 14.218,5 km² (15,4%). Nota-se através dos resultados que não foi expressiva a diferença de perda de cobertura florestal entre os cenários propostos. Entretanto, os autores demonstram que se for considerada somente a área da RDS do Juma, verifica-se que a redução na cobertura florestal seria de 1.052,4 km²(18,9%) no cenário linha de base. Enquanto que nos cenários com a presença da RDS do Juma, tanto no CV quanto no CVR, à redução atingiria 394,9 km² (7,1%). Se comparados os cenários observa-se que sem a criação da RDS haveria uma redução da cobertura florestal de cerca de 658,0 km² (62,5%) em relação aos cenários em que a reserva foi considerada (Figura 8).

As projeções obtidas pelas simulações deste trabalho demonstram que referente ao desmatamento na área da RDS do Juma no período analisado não há uma redução expressiva da cobertura florestal da reserva, pois a maior parte do desmatamento é alocada fora da RDS próxima às estradas que cortam a reserva (AM-174 e vicinais), em locais onde há um desmatamento prévio. Isto caracteriza o efeito do vazamento pela criação da reserva. Assim, os benefícios climáticos obtidos na criação de uma reserva,

tais como a redução de emissão de gases do efeito estufa provinda do desmatamento demonstrada pelos cenários de CV e CVR, estariam comprometidos.

O vazamento dos benefícios de serviços ambientais abordado neste modelo está relacionado ao deslocamento do desmatamento e o efeito que este traria sendo justificado pela presença da RDS do Juma. Fearnside (2009) define o vazamento como as mudanças nas emissões antropogênicas de gases de efeitos estufa ocorridas fora dos limites de um projeto de PSA (Pagamento de Serviços Ambientais) ou REDD (Redução das Emissões por Desmatamento e Degradação).

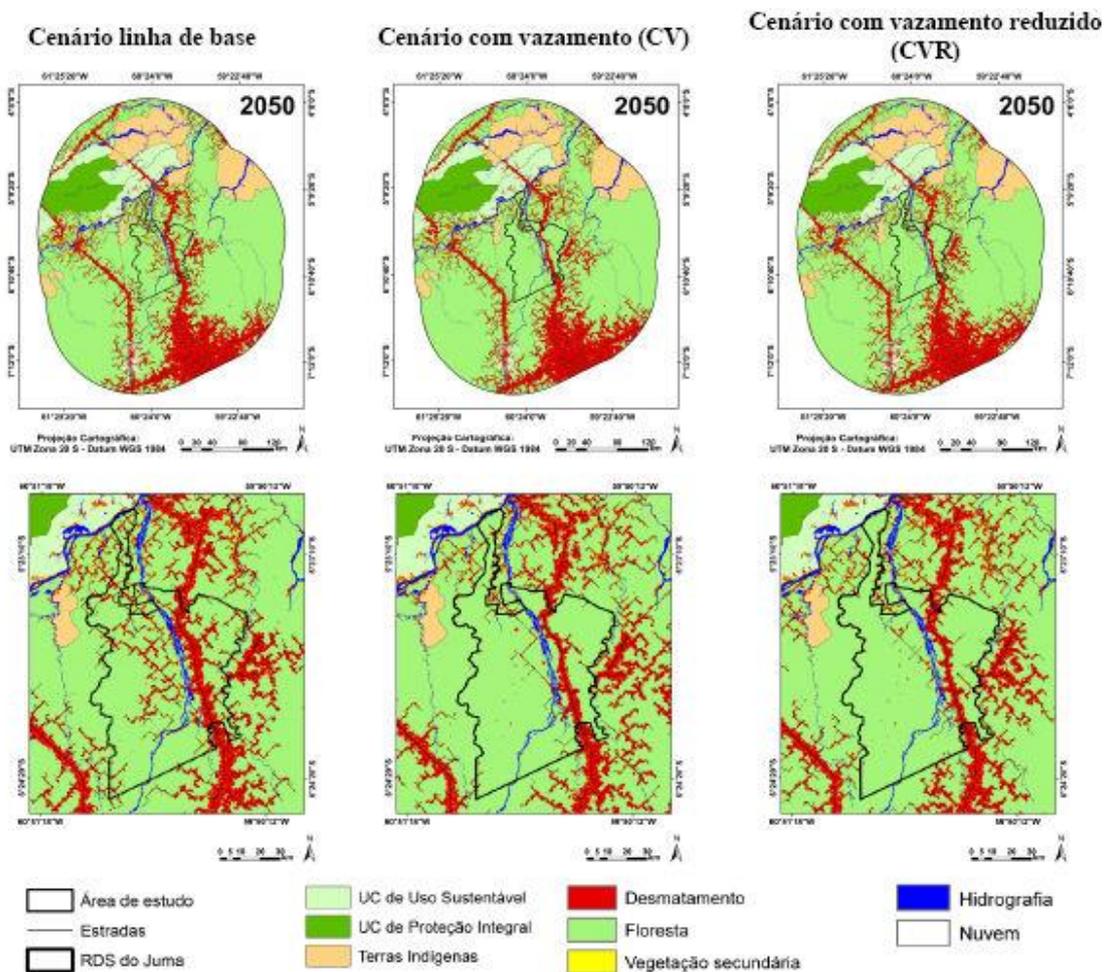


Figura 8: Mapa dos resultados obtidos na simulação dos cenários BAU, CV e CVR projetados até 2050. Mapas na posição superior demonstram a paisagem na área total da simulação e mapas na posição inferior destacam a área da RDS do Juma.

Fonte: Yanai et al. (2012)

Pode haver duas maneiras para que o vazamento ocorra: 1) “de dentro para fora” quando há um deslocamento de pessoas para fora da área de uma reserva criada para outro local. Observando que essa área não permite a interferência humana e uso de recursos naturais de forma direta; 2) “fora para fora” no que se refere ao movimento de atores diretamente ligados ao desmatamento (grileiros, madeireiros, garimpeiros etc.) que tinham intenção

de desmatar uma determinada área, mas que optaram por se estabelecer em outro local devido a criação de uma área protegida e, automaticamente, o desmatamento é deslocado para outro local, fora dos limites da área protegida. É importante que as emissões de carbono causadas pelo efeito do vazamento sejam consideradas nos cálculos que estimam os benefícios líquidos da criação uma reserva para fins de PSA (YANAI et al., 2011).

5 DIFERENÇAS CONCEITUAIS ENTRE MODELOS DE ARQUITETURA TOP-DOWN E BOTTOM-UP

Em geral, as arquiteturas de modelos de LUCC (*Land Use and Cover Change*) são classificadas com o *top down* ou *bottom-up*, sendo que estas se diferenciam de acordo com a aplicação, a técnica empregada e os dados de entrada ou saída (COELHO, 2009).

Há vários modelos hoje que empregam o tipo de abordagem *top-down* (Figura 8). Dentre estes se citam os modelos elaborados no CLUE (VELDKAMP e FRESCO, 1996; VERBURG, 2006), o SIMAMAZONIA I e II de Soares-Filho et al. (2002) e Soares et al. (2006) elaborados no DINAMICA e DINAMICA EGO, assim como o AGROECO (FEARNSIDE et al., 2009) entre outros (Figura 9).

Basicamente, os modelos são distintos pela forma representativa dos dados e comportamento das equações e regras utilizadas na descrição das mudanças de estado do modelo, tendo em comuns três módulos principais que, segundo Coelho (2009), são:

- a) Módulo de Demanda: é calculada a quantidade de mudança para cada transição (em área ou número de células), com base em extrapolação de tendências ou construção de cenários. A quantidade de mudança pode ser também computada com base em modelos econômicos complexos, que consideram como traduzir variáveis macroeconômicas como o preço de *commodities* ou o crescimento do PIB de países importadores em uma necessidade de produção de determinado produto, que pode ser transformado em área para determinado uso;
- b) Módulo de Alocação: A quantidade de mudança calculada pelo módulo de demanda é repassada para o módulo de alocação, onde algoritmos específicos irão efetuar as mudanças de acordo com um mapa de potencial de mudança, que indica o potencial das células para serem ocupadas por diferentes usos, de acordo com suas características biofísicas e de acessibilidade;

- c) **Módulo de Potencial:** Este módulo fornece a probabilidade de correr uma determinada alteração no uso/cobertura da terra através de alguma equação matemática ou estatística que relaciona as mudanças com um conjunto de variáveis determinantes, por exemplo, distância de estradas, declividade e qualidade do solo.

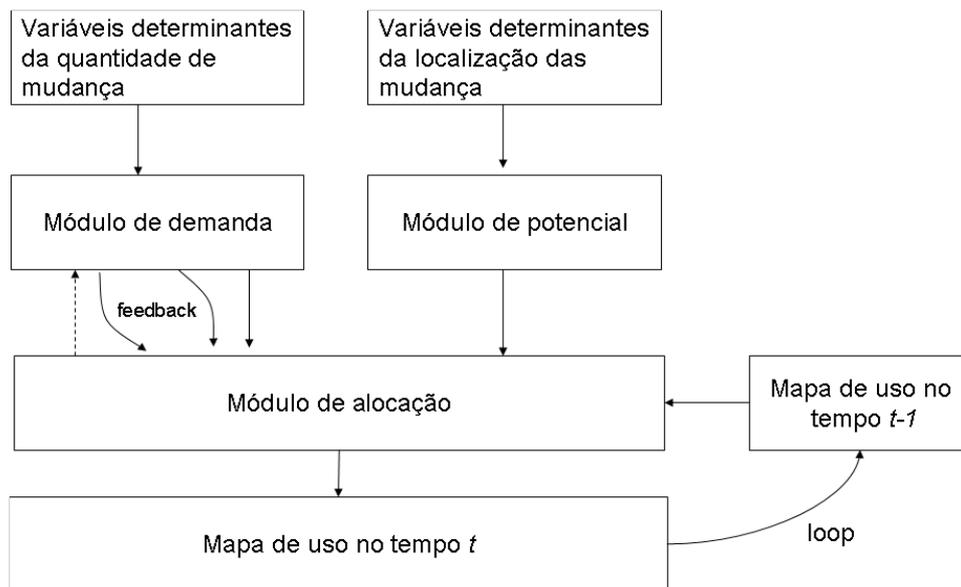


Figura 9: Estrutura geral dos modelos *top-down*.

Fonte: Adaptado de Coelho (2009) e Verburg et al. (2006).

Modelagem baseada em agentes é empregada em modelos de abordagem *bottom-up* que se baseia no conceito de emergência que é uma característica principal e essencial para modelos de simulação social, onde os agentes (entidades) interagem no nível micro resultando em modificações em nível macro (MATTHEWS et al., 2007). De acordo com Lambin (2006), os agentes podem ser considerados entidades autônomas heterogêneas que compartilham e interagem com o meio ambiente, tomando decisões baseadas num conjunto de regras (Figura 10).

Em modelos de mudanças do uso da terra estes agentes representam entidades, tais como, fazendeiros, políticos e instituições. Para estes agentes, existem diferentes tipos de fatores que podem influenciar suas decisões tais como a estrutura familiar, as técnicas e o contexto socioeconômico em que estão inseridos. Neste caso, as mudanças no uso da terra é resultado de interações entre os agentes e o ambiente sendo necessário que os agentes sejam alocados no espaço (COELHO, 2009).

Contudo, sabemos que é um desafio ligar os agentes as suas reais propriedades para os modelos que tentam delinear uma paisagem realística. É possível aplicar algumas técnicas como um questionário, na tentativa de identificar os agentes e suas atividades e o ambiente real que interagem. Neste caso, podem-se aplicar essas técnicas em áreas de pequena extensão e ainda usar como alternativa informação cadastral, mas que para muitos locais não estão disponíveis (VERBURG, 2006).

Para decidir qual arquitetura será utilizada dependerá do que o modelo necessita quais os objetivos, tamanho em extensão da área de estudo e qual o conhecimento do modelador relacionado à área estudada.

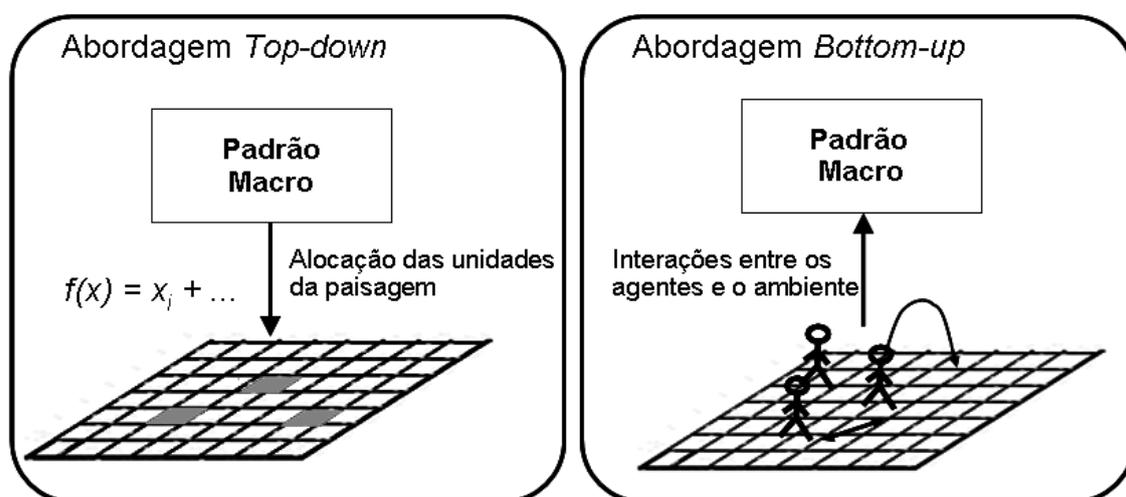


Figura 10: Abordagem *top-down* e *bottom-up*.
Fonte: Adaptado de Coelho (2009) e Verburg, (2006).

Modelos baseados na abordagem *top-down* são considerados mais fáceis para parametrizar quando se observa o arcabouço de ferramentas disponíveis para eles, tais como o CLUE, CLUE-S e o DINAMICA EGO, podendo ser utilizados em diversas áreas de estudo conforme as diferentes variáveis e tipos de relações (COELHO, 2009). Geralmente, a abordagem *top-down* é adequada aos processos em que as mudanças são largamente dirigidas por demandas regionais, como no caso de expansão de agricultura em regiões com grande oferta de recursos naturais (VERBURG, 2006).

Modelos com abordagem *bottom-up*, são geralmente embasados numa extensa coleta de dados em campo a fim de definir as regras comportamentais dos agentes e são mais utilizados para pequenas áreas (extensão municipal ou escala geográfica de 1:250.000) objetivando responder questões específicas da região estudada (ROBINSON et al., 2007).

Em modelos *top-down*, uma série de simplificações e suposições é feita e os modelos não são capazes de expressar a heterogeneidade dos diferentes atores como na abordagem *bottom-up*. Já os modelos *bottom-up* têm o potencial para representar a complexidade dos processos biofísicos e socioeconômicos e a interação dos atores nos diferentes níveis de organização (COELHO, 2009).

Finalmente, a escolha por qualquer que seja a abordagem (*top-down* ou *bottom-up*) sempre estará embasada nos objetivos pelo quais o modelo é delimitado. O que se tem como desafio é combinar os dois métodos. Pois, dada puramente as abordagens, estas podem não ser satisfatórias em representar complexos sistemas e suas interações dentro de processos biofísicos e socioeconômicos da vasta região Amazônica. A partir deste fato, muitos autores têm proposto uma multi-abordagem, tais como, Coelho e Moreira (2008) e Verburg (2006).

6. MATERIAL E MÉTODOS

6.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende o município de Apuí, localizado no sudeste do Estado do Amazonas (Brasil), fazendo divisa, ao sul, com o Estado do Mato Grosso. No Estado do Amazonas, Apuí faz divisa com os municípios de Novo Aripuanã, Borba e Maués. Situado entre as coordenadas geográficas 06°30' e 08°00' de latitude sul e de 59° 00' e 60° 30' de longitude oeste. Segundo IBGE (2010), o município possui 18.007 habitantes e uma extensão territorial de 54.022 km² (Figura 11).

O marco inicial de Apuí remonta à criação do Projeto de Assentamento do Rio Juma (PARJ), em decreto nº 238/82 de 30 de agosto de 1982, pelo Governo Federal da época que tinha como lema de governo “integrar para não entregar”. Este assentamento tinha como principal objetivo o desenvolvimento da região sudoeste do Estado do Amazonas, incentivado pelo último governo militar do Brasil, que investiu em grandes projetos com a mesma característica do PARJ ao longo da Rodovia Transamazônica (BR-230).

Neste período, o assentamento era administrado pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) e ocorria uma grande evasão de assentados devido às dificuldades vividas na região com relação à própria floresta amazônica, até então, intacta. Alguns que resistiram, encontrou nas atividades de garimpo alternadamente com a pecuária, uma forma de fomento à atividade agrícola. A partir de 1987, tornando-se insustentável a administração dos vários problemas vividos pela população local, está se organizou e reivindicou junto ao Governo Estadual que interviesse a favor da emancipação municipal, o que resultou no surgimento do Município de Apuí, decretado pela Lei nº. 1826/87 (LEAL, 2010).

A principal via de acesso a este município é a rodovia BR -230 (Transamazônica), por onde se escoia a maior parte da sua produção. As sedes municipais mais próximas que se interligam a Apuí são: no sentido noroeste, a sede de Humaitá – AM, percorrendo um trecho de 397 km e no sentido sudeste, a sede de Jacareacanga – PA, distando 300 km. Estas sedes são conectadas pela rodovia BR-230. Apuí é interligado, ao norte, com a sede municipal de Novo Aripuanã, pela estrada AM-174, perfazendo um trecho de cerca de 320 km. Tais trechos ainda se encontram sem pavimentação e nos períodos de chuvas, entre os meses de dezembro a abril, tornam-se intrafegáveis, dificultando e encarecendo

o transporte de mercadorias para dentro da cidade e produção local para fora (RAZERA, 2005; CARRERO, 2009).

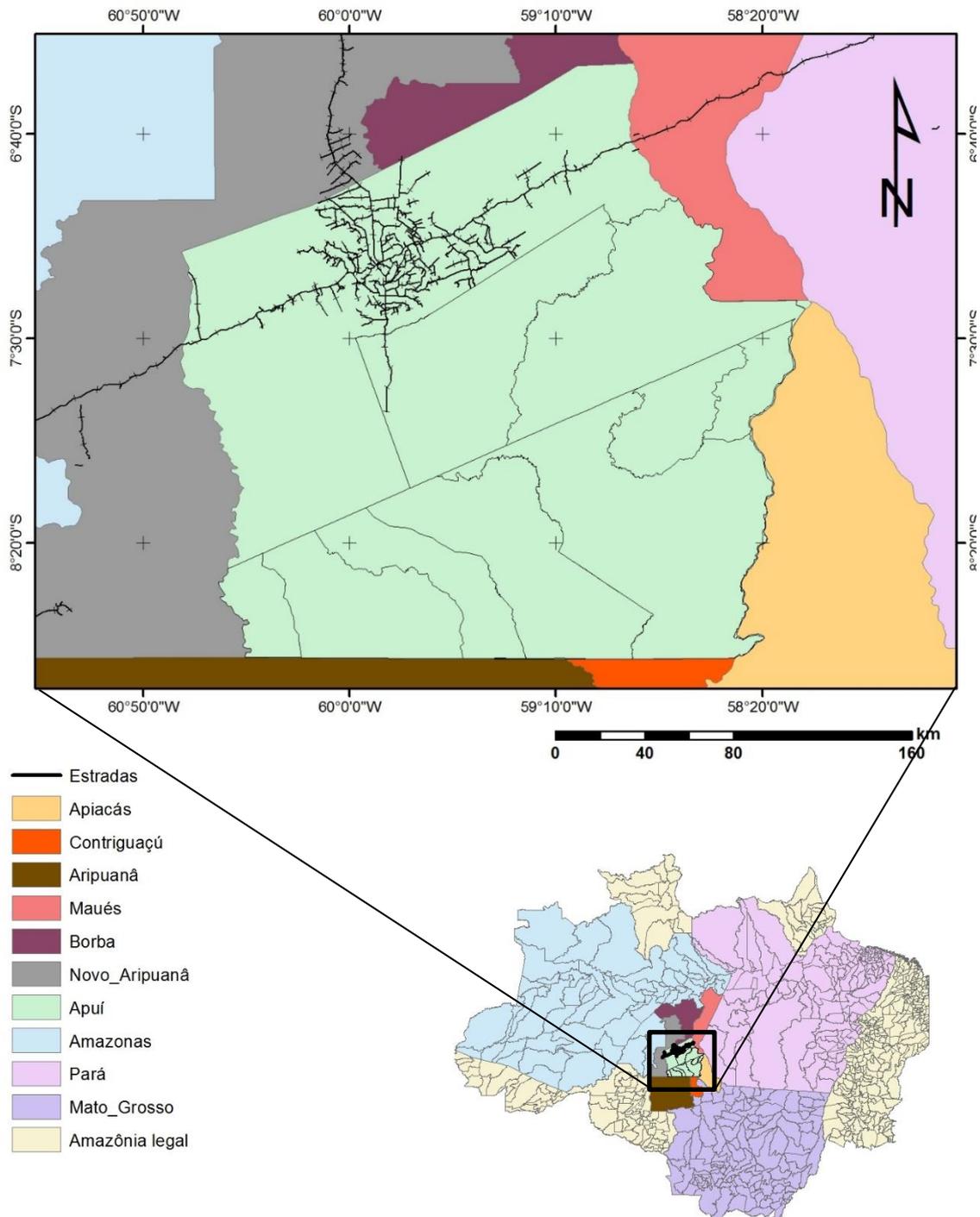


Figura 11: Mapa do município de Apuí, situado no sul do Estado do Amazonas.

O clima na região de Apuí é classificado como equatorial com variações de temperatura anual média entre 26° C a 27° C, apresentando período chuvoso entre os meses de dezembro a maio e o período seco entre junho a outubro (SDS, 2008). A precipitação média anual está em torno de 2.000 mm (IDESAM, 2009). A região do município de Apuí

é caracterizada por uma vegetação predominante de floresta ombrófila densa e aberta com algumas formações de campinas sobre solos arenosos. Na sua malha hidrográfica destacam-se os rios Acari, Aripuanã, Juma, Guariba e Sucunduri (RAZERA, 2005).

De acordo com os dados do RADAMBRASIL (1978), o solo da região é caracterizado pela predominância de Latossolo Vermelho-Amarelo com pequena porção de Argissolos Bruno acinzentados. A região também apresenta solos antropogênicos de “terra preta de índio”, distribuídos em pequenas manchas localizadas, geralmente, às margens de cursos hídricos. Esses solos têm alta concentração de nitrogênio e fósforo e são geralmente desmatados para a agricultura (CARRERO, 2009).

Observa-se na produção agrícola que o município apresenta o arroz, café, feijão e mandioca como produtos principais e, em menor proporção, o guaraná, cacau, banana, citros e cupuaçu com predominância da pecuária como principal atividade econômica (Figura 12). Estima-se que o rebanho bovino seja composto por 86.000 cabeças de gado e com outras criações como caprinos, suínos, ovinos e aves em menor extensão (IBGE, 2010). A rentabilidade da pecuária em Apuí é bastante questionável (RAZERA, 2005), sendo constatado que cerca de 30% dos produtores executam a atividade com propósitos especulativos, visto que não obtêm renda da mesma (CARRERO E FEARNSSIDE, 2010). Apuí apresenta 2.037 estabelecimentos agropecuários por proprietário individual, cuja área atinge uma área total de 334.340 hectares do município.



Figura 12: Criação de gado em pasto no PA do JUMA com babaçual ao fundo.

6.1.2 LEVANTAMENTO DE CAMPO E ORGANIZAÇÃO DOS DADOS

Para modelagem espacial foram necessárias três etapas que abrangem desde a coleta de informações em campo, análises laboratoriais, o uso de programas computacionais para geoprocessamento e sensoriamento remoto e a modelagem do desmatamento.

A primeira etapa foi caracterizada pelo reconhecimento de campo, sendo realizada uma expedição ao Município de Apuí que teve como objetivo observar o comportamento de alguns atores locais do desmatamento para ter-se uma noção da dinâmica do uso e cobertura da terra no município. Não foram realizadas entrevistas estruturadas com os atores locais, somente conversas informais a fim de tentar compreender a sua forma de atuação.

Foram realizados registros fotográficos do tipo de uso e cobertura da terra e, também, das coordenadas geográficas com auxílio de um GPS dos pontos visitados em campo. Os registros do posicionamento geográfico dos pontos visitados foram armazenados em um banco de dados georreferenciados. Foram elaboradas cartas-imagem de Apuí em escala 1:100.000, projeção cartográfica UTM/21S e DATUM WGS84, a partir da composição colorida R(5), G(4), B(3) obtidas pelas imagens do sensor TM/ Landsat-5, disponíveis no site do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Estas cartas-imagem tiveram como finalidade a orientação no deslocamento em campo para realizar a descrição do tipo de uso e cobertura de terra presente nos pontos visitados (Figura 13).

A segunda etapa caracterizou-se na construção de um banco de dados cartográficos e de imagens de satélite em ambiente de SIG e na elaboração dos dados de entrada no modelo (dados cartográficos). Neste estudo foi adotado o modelo AGROECO desenvolvido por Fearnside et al. (2009), no laboratório de Capacidade de Suporte Humano e Agroecossistemas do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (AGROECO/INPA). Este modelo utiliza dois *softwares* de modelagem, os quais são:

- a) DINAMICA EGO: programa de modelagem ambiental espacial desenvolvido na Universidade Federal de Minas Gerais (RODRIGUES et al., 2007; SOARES-FILHO et al., 2007; SOARES-FILHO et al., 2009);
- b) VENSIM: programa de modelagem não espacial que possibilita o cálculo de taxas de desmatamento a partir de variáveis socioeconômicas

A terceira etapa teve por finalidade a obtenção da estimativa da superfície desmatada resultante da modelagem, além da análise do estado de conservação das Áreas de

Proteção Permanente baseado nos resultados da simulação para o desmatamento em Apuí observando-se o quanto se degradou e projetando a perda de floresta para as APPs no intervalo de tempo simulado.

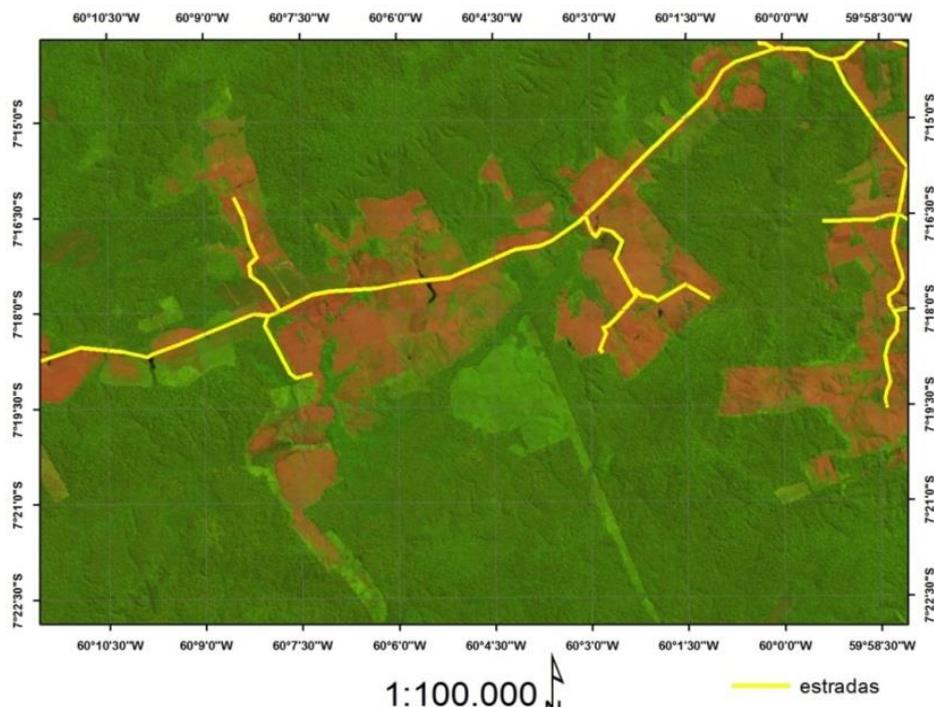


Figura 13: Exemplo de carta imagem utilizada em campo para observação da área de estudo.

6.1.3 O DINAMICA EGO

O programa escolhido para modelagem espacial foi o DINAMICA EGO, versão 1.9.25. Conceitualmente, o modelo de desmatamento tem como dados de entrada um conjunto de mapas, a exemplo: mapa inicial de uso de cobertura da terra obtido a partir do mapa de desmatamento do PRODES e variáveis cartográficas divididas em dois tipos: 1) estáticas, tais como, mapa de solos, vegetação, altitude e declividade; e 2) dinâmicas, tais como, distâncias às estradas e ao desmatamento. Estas variáveis são combinadas por meio dos seus pesos de evidência, possibilitando gerar um mapa de probabilidade de transição, que determinará o local mais provável de ocorrer uma transição de um tipo de uso e cobertura da terra para outro estado, neste caso, floresta para desmatamento.

O DINAMICA EGO é utilizado como instrumento de investigação para a dinâmica de paisagens relacionada a eventos espaciais, possibilitando a construção de modelos genéricos de mudanças de uso e cobertura da terra. A interface do DINAMICA EGO se fundamenta na teoria de grafos onde a informação parte de um ponto e percorre um

caminho através de conexões (*functors*) que pode ou não diferir do ponto inicial (RODRIGUES et al., 2007).

Os operadores do DINAMICA EGO atuam sobre um conjunto de dados de entrada produzindo um novo conjunto de dados como saída (tabelas ou mapas) e executam um conjunto de operações finitas tais como, cálculo de mapa de custo, sorteio de pontos mais prováveis para a ocorrência de um determinado fenômeno, cálculo de caminho de menor custo e cálculo de mapas usando-se de expressões lógicas e aritméticas.

Os funtores (*functors*) podem ser considerados como os elementos básicos de um modelo cartográfico (SOARES-FILHO et al., 2006). Além dos operadores convencionais, que contém um único funtor, o programa inclui operadores de grupos - *containers* - chamados especiais. Pois, agrupam e determinam o comportamento para o conjunto de operadores neles contidos (RODRIGUES et al., 2007), além da necessidade de determinação interna de alguns parâmetros, por parte do modelador (TRENTIN e FREITAS, 2010).

O DINAMICA EGO inclui rotinas para simular a construção de redes de estradas e para gerar novas manchas de desmatamento (ao invés da expansão de clareiras já existentes), que possibilitam representar a expansão da rede de estradas endógenas e o processo de estabelecimento de fronteiras novas, respectivamente (YANAI, et al. 2011; SOUZA JR. et al, 2005).

Um modelo de simulação de mudanças da paisagem consiste basicamente em calcular a função: $X_{t+\nu} = f(X_t, Y_t)$, onde, X_t representa o padrão espacial no tempo (t) e Y_t é o vetor de variáveis com coordenadas espaciais, as quais podem afetar a transição de uma determinada classe dentro do modelo (SOARES-FILHO et al., 2004). Portanto, esta função descreve as mudanças nos padrões espaciais de um tempo (t) para um novo padrão espacial no tempo ($t + \nu$) (YANAI, 2011).

O fluxograma abaixo (Figura 14) representa o esquema das rotinas de análises de um modelo conceitual de uso da terra no DINAMICA EGO:

Basicamente o modelo foi idealizado para responder três pontos em relação à mudança de uso da terra (VITEL, 2009):

- a) ONDE- aonde ocorrerão as mudanças de uso da terra;
- b) QUANTO- qual será a quantidade de mudanças que ocorrerão para cada transição;
- c) COMO- qual será a representação espacial das novas áreas de mudança.

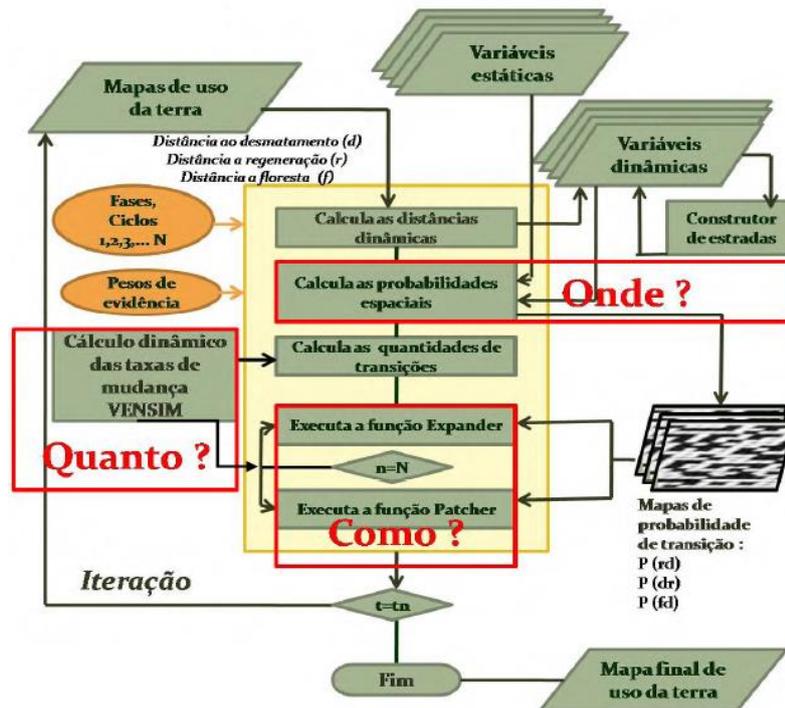


Figura 14: Fluxograma representando a rotina de análises feita em modelos de simulação desenvolvidos no DINAMICA EGO.
Fonte: Adaptado de Vitel, 2009.

6.2.2 SIMULAÇÃO DO DESMATAMENTO PARA O MUNICÍPIO DE APUIÍ

Para a simulação do desmatamento em Apuí utilizou-se o modelo AGROECO, desenvolvido por Fearnside et al., (2009), com base no arcabouço de ferramentas de modelagem do DINAMICA-EGO (SOARES-FILHO et al., 2006). Este modelo traz um conjunto de modificações incorporadas a sua estrutura lógica que possibilita, a cada iteração do modelo, por exemplo, o cálculo de uma superfície de floresta acessível expandindo-se à medida que são construídas novas estradas no módulo construtor de estradas. O modelo AGROECO, ao contrário dos modelos baseados em demandas, é dirigido pela criação de infraestrutura como estradas planejadas na criação dos cenários futuros (FEARNSIDE et al., 2009).

Na simulação do desmatamento em Apuí foi necessário adaptar o modelo AGROECO na tentativa de reproduzir a dinâmica local de uso e cobertura da terra da forma mais próxima possível da realidade. Originalmente, AGROECO apresenta o conceito de floresta fundiária utilizando uma área de entorno de 4 km em ambos os lados das estradas. Para o modelo em Apuí esta distância foi reduzida para 2 km considerando a distância média por meio de interpretação visual em imagens de satélite e medidas utilizando o software de geoprocessamento QGIS (Figura 15).

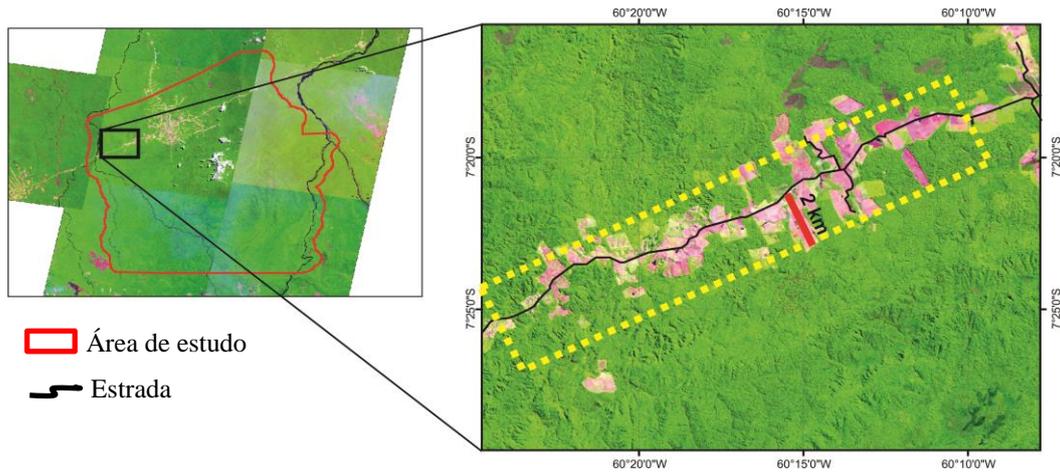


Figura 15: Área de estudo no município de Apuí; destacando de área utilizada para extrair as médias de distância de floresta fundiária dentro do retângulo pontilhado.

Além da área de floresta fundiária, também foi modificado a geração de área de entorno para floresta acessível que, originalmente no AGROECO, apresenta uma distância de 12 km das estradas, esta foi reduzida para 6 km (Figura 16).

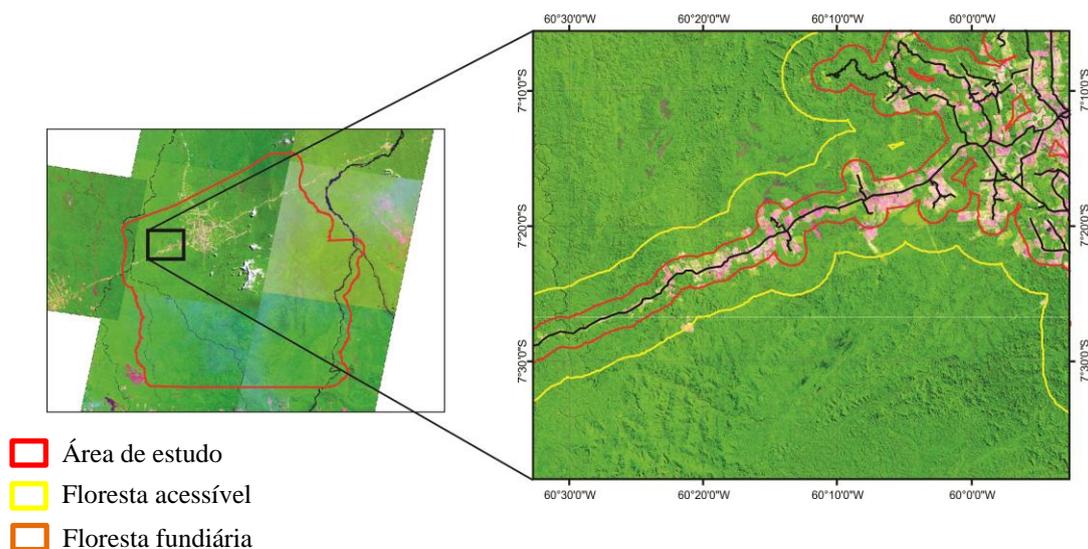


Figura 16: Área de estudo, destacando a representação das áreas de floresta fundiária e acessível conforme a simulação feita no AGROECO.

A resolução espacial dos mapas de entrada utilizado no modelo Agroeco por Fearnside et al. (2009) para simular o desmatamento foi de 500 metros. Neste estudo, foi modificado para 60 metros. O número de iterações referente ao processo de simulação de 50 anos utilizado por Fearnside et al. (2009), também, foi reduzido para 30 anos.

Após a modificação do modelo AGROECO, foram realizados os seguintes procedimentos:

- a) Construção da base de dados para Apuí;

- b) Uso do modelo AGROECO modificado para Apuí;
- c) Calibragem do modelo;
- d) Validação do modelo;
- e) Construção do cenário e, posteriormente, a execução da simulação para Apuí no período escolhido;

6.2.3 CONTRUÇÃO DA BASE DE DADOS GEOGRÁFICA PARA APUÍ POR MEIO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)

Os dados utilizados como entrada no modelo AGROECO foram tratados por meio de um SIG, a fim de padronizar e quantificar as mudanças ocorridas num intervalo de tempo, possibilitando o seu uso no modelo de uso da terra. Para realizar a simulação do desmatamento em Apuí foram necessários os seguintes dados espaciais de entrada³:

- a) Mapas anuais de cobertura da terra no tempo inicial (t1) (PRODES 2000) e tempo final (t1+x) (PRODES 2009) da área de estudo, utilizada para o cálculo dos valores iniciais da taxa anual de transição e para determinar os pesos de evidência (Figura 17). Estes mapas também foram utilizados na fase de calibração do modelo.

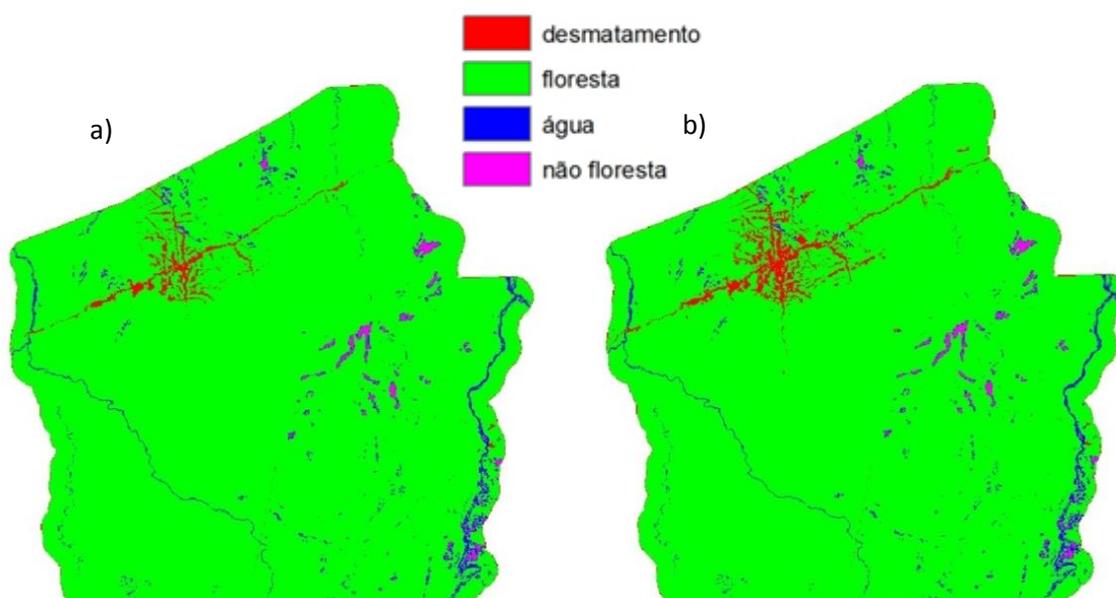


Figura 17: Mapas de uso e cobertura da terra (a) inicial (ano de 2000) e (b) final (ano de 2009).

Altitude e declividade: duas variáveis derivadas dos dados do SRTM versão 4.1 (Figura 18) - Shuttle Radar Topography Mission;

³ A resolução espacial utilizada para padronizar as imagens dos mapas de cobertura derivados dos mapas de cobertura da terra do PRODES foi de 60 metros (5014x4086 linhas e colunas)

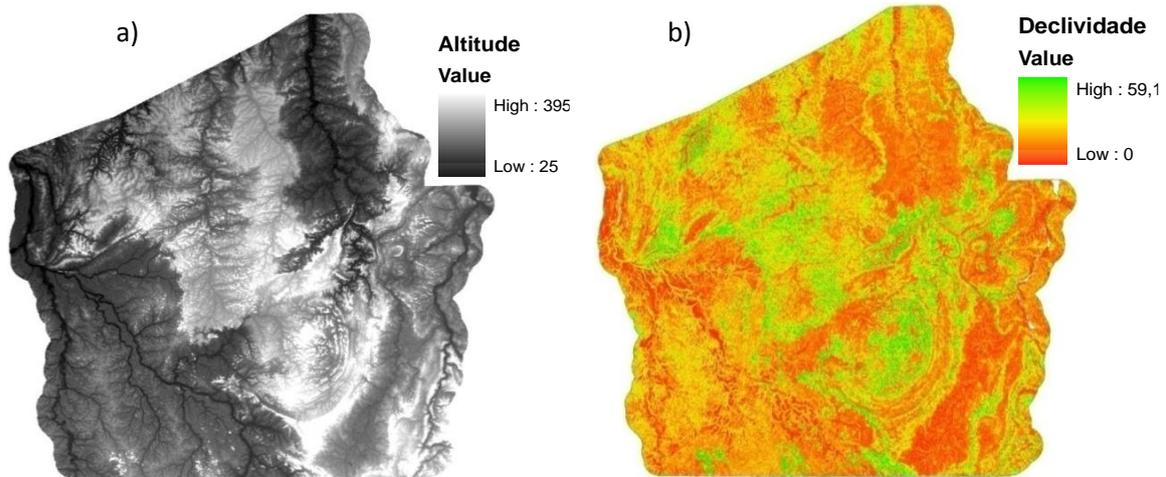


Figura 18: Mapa de altitude (a) e declividade (b) extraído do SRTM 4.1

Distância a todas as estradas: dados de estradas fornecidos pelo DNIT (2009), atualizados neste estudo para estradas recém-construídas na região para incluir as estradas ilegais por meio interpretação visual baseada em imagens TM – Landsat 5 (Figura 19)

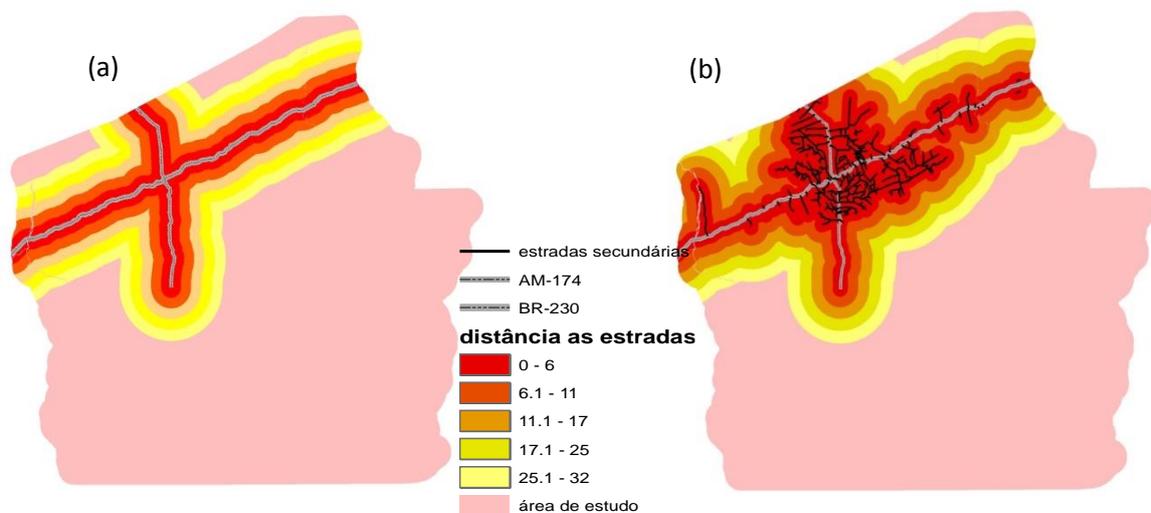


Figura 19: (a) Distância as estradas principais e (b), distância a estradas secundárias atualizadas.

Mapa de vegetação: elaborado com base no mapa de vegetação do banco de dados do RADAMBRASIL. Neste mapa pode-se encontrar a os tipos de classe de vegetação para Amazônia ou especificamente para o município de Apuí que contém sete classes fito-

fisionômicas de acordo com o sistema de classificação do ao RADAMBRASIL (Figura 20)

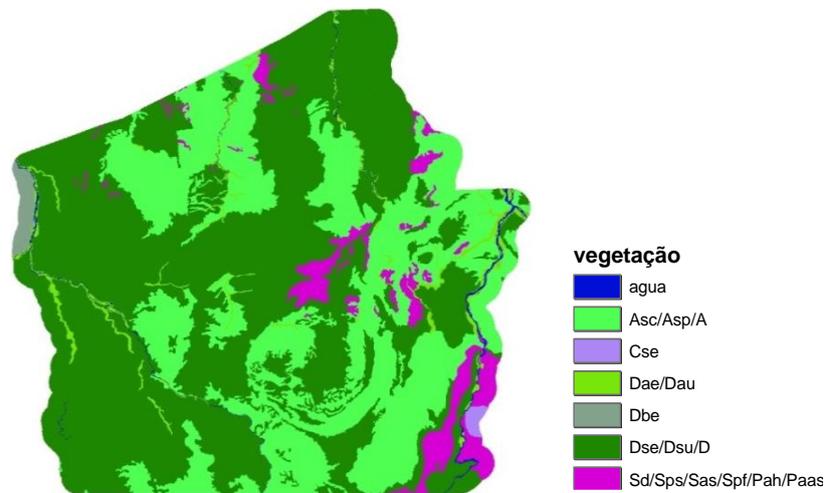


Figura 20: Mapa de vegetação derivado do RADAMBRASIL, no qual as classes Asc/AsP/A representam a floresta ombrófila aberta submontana; CSe - floresta estacional; Dae/Dau - floresta ombrófila densa aluvial; Dbe - floresta ombrófila densa de terras baixas; DSe/DSu/D - floresta ombrófila densa submontana; e Sd/Sps/Spf/Pah/Paas - formações não-florestais.

Mapas de unidades de conservação e terras indígenas: elaborados a partir do banco de dados fornecido pelo SIPAM com as localizações das unidades de conservação do mosaico de unidades de conservação estaduais, unidades de conservação federais e parte da terra indígena Mundurucu, presente no buffer de 5 km no torno do município (Figura 21).

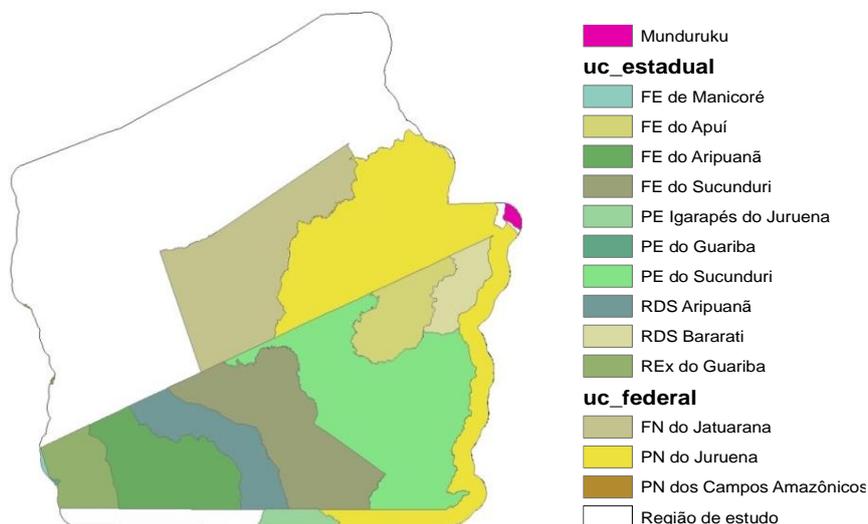


Figura 21: Mapa de unidades de conservação estadual, federal e terra indígena presentes na região de estudo.

Mapa de solos: derivado do mapa de solos do RADAMBRASIL. Neste se encontram os tipos de solos do Brasil e estão de acordo com a nomenclatura e especificações do atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Figura 22).

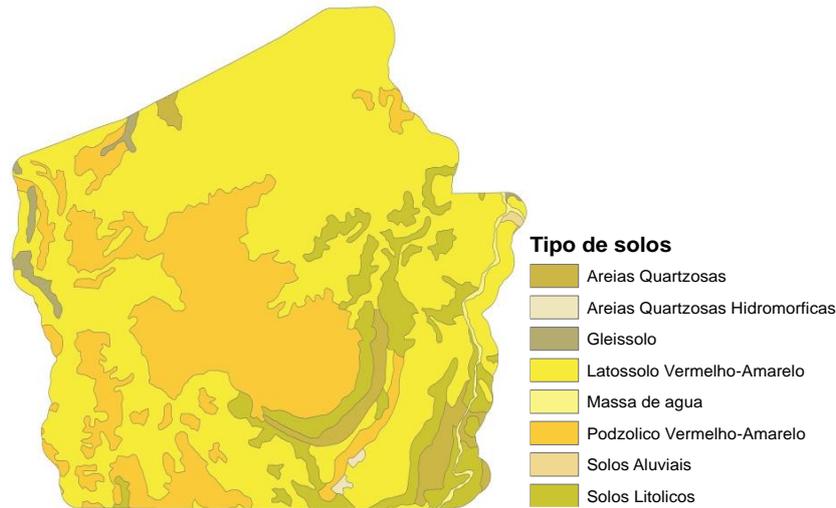


Figura 22: Tipos de solos encontrados na região de estudo.

Mapas adicionais utilizados no submodelo construtor de estradas:

Mapa de fricção: foi composto pelos mapas de unidades de conservação e declividade. Neste mapa, valores altos de fricção tiveram por objetivo de dificultar ao máximo a construção de estradas no interior de unidades de conservação e em áreas de elevada declividade, mas não impossibilita a construção de estradas dentro destas áreas (Figura 23).

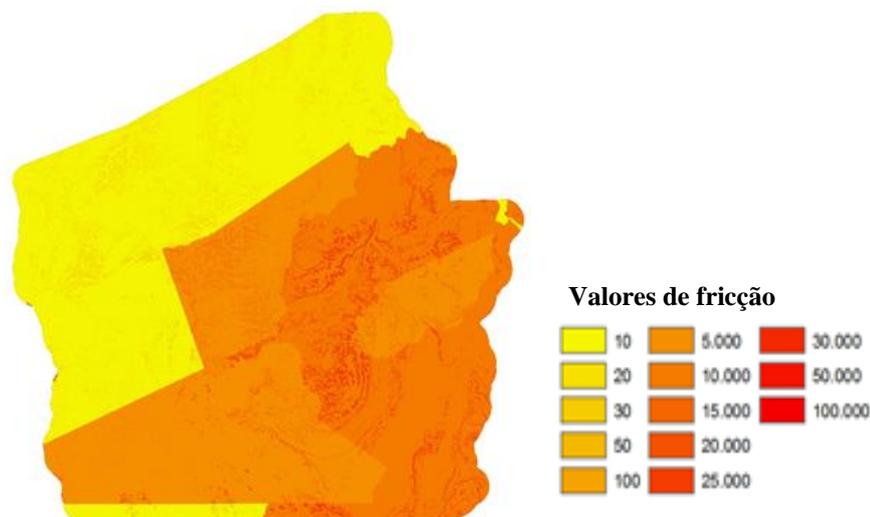


Figura 23: Mapa de fricção com unidades de conservação. Valores de fricção variando entre baixo (amarelo) a alto (vermelho).

Mapa de atratividade: utilizado, também no módulo construtor de estradas (item 6.2.4), tem por finalidade direcionar a construção de estradas em regiões com concentração de atividade humana, consideradas “atrativas”, permitido ao modelo construir estradas em áreas favoráveis, com maior atividade econômica, como o PA do JUMA (Figura 24).

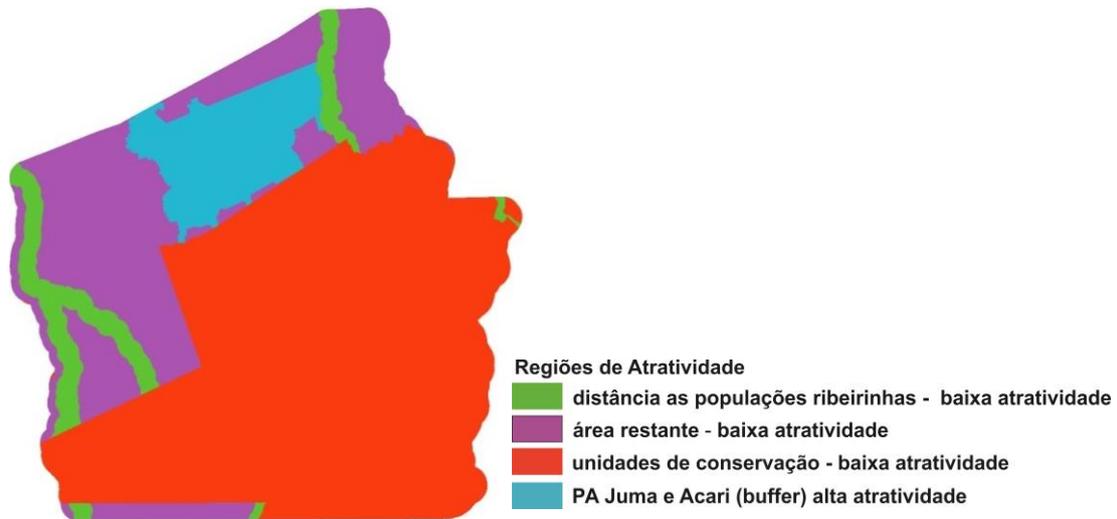


Figura 24: Mapa de atratividade com regiões mais atrativas à construção de estradas.

Hidrografia: Inicialmente é derivada de uma das classes presentes no mapa de cobertura do PRODES denominada “massa d’água” (Figura 25). A partir deste mapa foram calculadas faixas de distância aos rios dos mapas do PRODES pelo DINAMICA EGO para compor o cubo de variáveis e estáticas (SOARES-FILHO et al., 2002).

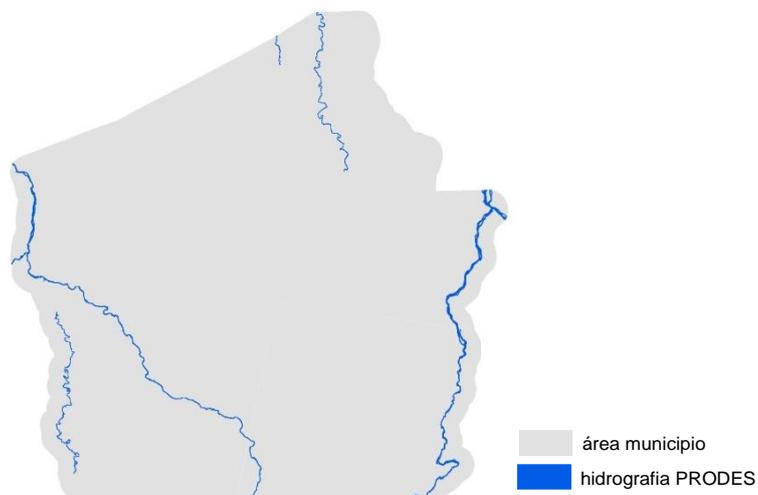


Figura 25: Mapa de hidrografia derivado do mapa de cobertura da terra do PRODES

6.2.4 MÓDULO CONSTRUTOR DE ESTRADAS DO MODELO AGROECO

O módulo construtor de estradas é um submodelo desenvolvido no DINAMICA que permite simular a projeção de novas estradas, incorporadas à malha viária atual (mapa inicial de estradas fornecido pelo DNIT) a cada iteração. O módulo construtor de estradas necessita como dados de entrada auxiliares: os mapas de atratividade e fricção. O módulo construtor de estradas é um submodelo inserido no modelo AGROECO baseado no

DINAMICA EGO, dividido em rotinas acopladas em dois módulos componentes (RODRIGUES et al. 2007):

Módulo I: Estabelece o destino das estradas a partir de um processo computacional de sementeira, utilizando um mapa de atratividade. Este mapa estabelece as áreas mais favoráveis à construção de estradas, nas quais serão selecionadas as “sementes” candidatas a destinos de novas estradas. Para o modelo de Apuí foram criadas duas classes de atratividade:

- a) classe de alta atratividade, representada pelos “PAs do Juma e Acari” que constituem as áreas destinadas ao assentamento, as quais concentram grande parte das estradas e atividades antrópicas;

- b) classe de baixa atratividade foi representada pelas áreas de influência de “povoamentos ribeirinhos”, abrangendo uma faixa de distância de 5 km ao longo das margens dos rios Aripuanã, Sucunduri e Juruena, onde estes povoamentos se localizam. Os ribeirinhos possuem uma baixa atividade expansiva de novas áreas para agricultura e pecuária, e utilizam os rios como principal via de escoamento da produção entre suas comunidades e o município de Apuí (sede). Adicionalmente, foram consideradas como áreas de baixa atratividade as UCs e demais áreas externas aos PAs, que apresentam pouca ou nenhuma atividade humana. Portanto, consideradas como uma região de baixa atratividade para o surgimento de novas estradas, mas, ainda assim, constituem um possível destino (Tabela 1).

Módulo II: Calcula a direção da estrada até um destino baseado no custo da construção. Os destinos serão interligados à estrada mais próxima, com base em um mapa de custo e a trajetória para construção de uma estrada nova até destino será aquela de menor custo. Quanto maior o valor de fricção de uma área, maior será o custo para construção de uma estrada. Conseqüentemente, menor será a predisposição que uma estrada seja construída nesta área. Portanto, o mapa de fricção determina o melhor trajeto, em termos de custo, para conectar os destinos estabelecidos pelo modelo à malha viária pré-existente.

Tabela 1: Valores de atratividade atribuídos a regiões específicas do município de Apuí.

Classes de uso	Atratividade	Motivo
Projeto de assentamento do JUMA	100	Área de maior atratividade de desmatamento devido às áreas de pecuária aberta na região do PA
Projeto de assentamento do ACARI	100	Área de atratividade considerando as mesmas características do JUMA e por estar localizada dentro do buffer da área de estudo
Unidades de conservação	10	Valor de atratividade baixo
Distancia as populações ribeirinhas	10	Baixa atratividade ao desmatamento considerando o fato de que a maior parte está afastada do PA e em grande parte concentrada dentro das unidades de conservação do mosaico de unidades de conservação em Apuí
Área restante	10	Área remanescente as áreas acima propostas, ou seja, o que sobra da área de estudo não preenchida pelas regiões.

O mapa de fricção de Apuí foi elaborado considerando a “declividade” e as áreas de proteção ambiental (UCs e TI). Os valores estabelecidos para a fricção variaram conforme o grau de declividade e a efetividade de proteção das UCs e TI. Deste modo, áreas com maior percentual de declividade e com maior restrição ao uso possuíram os maiores valores de fricção (Tabela 2).

Além dessa estrutura básica, descrita acima, o modelo AGROECO incluiu conceitos para a regulação da construção das estradas modeladas (FEARNSIDE et al. 2009). Esta regulação é feita comparando-se o mapa de desmatamento, de uma dada iteração, com o mapa da rede de estradas correspondente. A atividade de construção de novas estradas aumenta quando há um aumento do desmatamento nas proximidades das estradas pré-existentes. Assim, a atividade de construção irá variar em relação à saturação das estradas com desmatamento. O ciclo de baixa atividade está associado com destinos alcançando cerca de 2 km, representando uma fase de adensamento da rede de estradas, consideradas como estradas de consolidação. O ciclo de média atividade se caracteriza em utilizar o dobro da distância do ciclo de baixa atividade. Por sua vez, o ciclo de alta atividade disporá de destino a 6 km das estradas existentes, configurando traçados representando estradas de penetração.

Tabela 2: Valores de fricção estabelecidos para a declividade e áreas de proteção ambiental.

Classes de uso	Fricção	Motivo
Declividade	Variável	Os custos para a construção de uma estrada variam em função da declividade, sendo que declividades acima de 20% possuem valores de fricção maiores do que percentuais abaixo deste nível. O mapa de declividade, utilizado na fricção, foi categorizado em faixas de 10%.
UC de Proteção Integral Federal e Estadual	10000	Alto nível de proteção destas áreas, considerando Vitel et al. (2009)
UC de Uso Sustentável	5000	Apesar de apresentar suscetibilidade ao desmatamento ainda incorpora proteção à área, considerando Vitel et al. (2009).
Terras Indígenas	10000	Apresenta alto grau de fricção devido à dificuldade de criação de infraestrutura nessas áreas, considerando Vitel et al. (2009).

Adicionalmente, foi desenvolvido para o modelo AGROECO (FEARNSIDE et al. 2009), um mecanismo para construção de estradas com traçados preferenciais. Neste modelo a trajetória das estradas não é apenas relacionada com o simples cálculo de custos e atratividade, mas também pela configuração espacial da construção de estradas observada na região estudada. Estes padrões seguem a distância observada entre as estradas as estradas vicinais (ramais ou travessões), característicos de áreas de assentamento.

Assim como, as estradas de penetração em sentido radial ao adensamento da ocupação e a rede viária de consolidação condicionada pela disposição fundiária dos lotes. Desta maneira, a formação dos mapas de atratividade e fricção, correspondentes a cada iteração, são influenciados por esta configuração de estradas, além de outras variáveis utilizadas no submodelo construtor de estrada.

6.2.5 PESOS DE EVIDÊNCIA

O método de Pesos de Evidência é um método estatístico que se baseia no teorema da probabilidade condicional de Bayes. Este método visa determinar a probabilidade de ocorrer um evento dado um ou mais fatores de evidência de ocorrência. A metodologia bayesiana apresenta características como à possibilidade de combinação de múltiplos mapas com pesos de evidência em um modelo de fácil adaptação a linguagens computacionais e a possibilidade de usar mapas de diversas classes, onde cada classe é tratada como uma evidência presente. Este método tem como premissa que as variáveis sejam independentes, pois os ponderadores imprimem um peso muito elevado quando as variáveis são correlacionadas (YANAI et al., 2011). Os pesos de evidência possibilitam

avaliar a contribuição de cada variável de maneira individual (BONHAM-CARTER et al., 1989).

Para determinar os pesos de evidência das variáveis contínuas, a exemplo do mapa de declividade, é necessário primeiramente categorizá-los. Este procedimento minimiza o esforço computacional para o cálculo do peso de cada pixel da imagem da variável contínua, facilitando a obtenção dos pesos por faixas de valores. O DINAMICA EGO possibilita esta operação, calculando os intervalos de distância para a derivação dos pesos de evidência (SOARES-FILHO et al., 2009).

O método dos pesos de evidência (GOODACRE et al. 1993; BOHAM-CARTER, 1994) são aplicados pelo DINAMICA EGO com o intuito de produzir um mapa com probabilidades de transição que pode representar as áreas mais favoráveis para que se aconteça uma determinada mudança (SOARES-FILHO et al. 2002).

O peso de evidência se baseia em um método *bayesiano*, tradicionalmente usado na geologia para indicar áreas mais favoráveis a algum tipo de evento geológico (GOODACRE et al., 1993; BONHAM-CARTER, 1994). Este método representa a influência de cada categoria (faixas de valores) de certa variável nas probabilidades espaciais de uma transição $i \Rightarrow j$ calculado pelas equações a seguir:

$$O\{D|B\} = \frac{P\{D|B\}}{P\{\bar{D}|B\}}$$

$$\log\{D|B\} = \log\{D\} + W^+$$

Onde $O\{D\}$ e $O\{D/B\}$ são as razões de chances, respectivamente, de ocorrer *a priori* o evento D e de ocorrer dado um padrão espacial B, no exemplo de um determinado tipo de solo ou faixa de distância à estrada. W^+ é o peso de evidência de ocorrer o evento D, dado um padrão espacial B. A probabilidade *a posteriori* de uma transição $i \Rightarrow j$, dado um conjunto de dados espaciais e considerando que $O\{D\}=1$, pois esta já é passada ao modelo via matriz de transição, é expressa pela seguinte equação:

$$P(i \Rightarrow j(x, y) / V) = \frac{e^{\sum Wkn_{i \Rightarrow j(V)xy}}}{1 + \sum_{j'} e^{\sum Wkn_{i \Rightarrow j'(V)xy}}}$$

Onde V representa um vetor de k variáveis espaciais, medidas nas localidades x, y e representadas por seus pesos $W^+_{k 1 x y}, W^+_{k 2 x y}, \dots, W^+_{k n x y}$, sendo n o número de categorias de cada variável k (SOARES-FILHO et al. 2007). No peso de evidência, 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, o que pode ser testado por diversos métodos estatísticos, como coeficiente de contingência V de Cramer ou o teste da “Incerteza da Informação Conjunta” (*Joint Information Uncertainty*). Variáveis correlacionadas são excluídas do modelo ou combinadas em uma terceira. Como o método usa dados categóricos, os pesos são também independentes de unidades de medida. No entanto, isto impõe a necessidade de um método de categorização que mantenha a estrutura original de variação dos dados (SOARES-FILHO et al. 2009).

O resultado do peso de evidência são mapas integrados que assinalam as áreas mais favoráveis a cada tipo de mudança podendo ser interpretado como mapas de probabilidades espaciais de transição (Figura 26) (SOARES-FILHO et al. 2007).

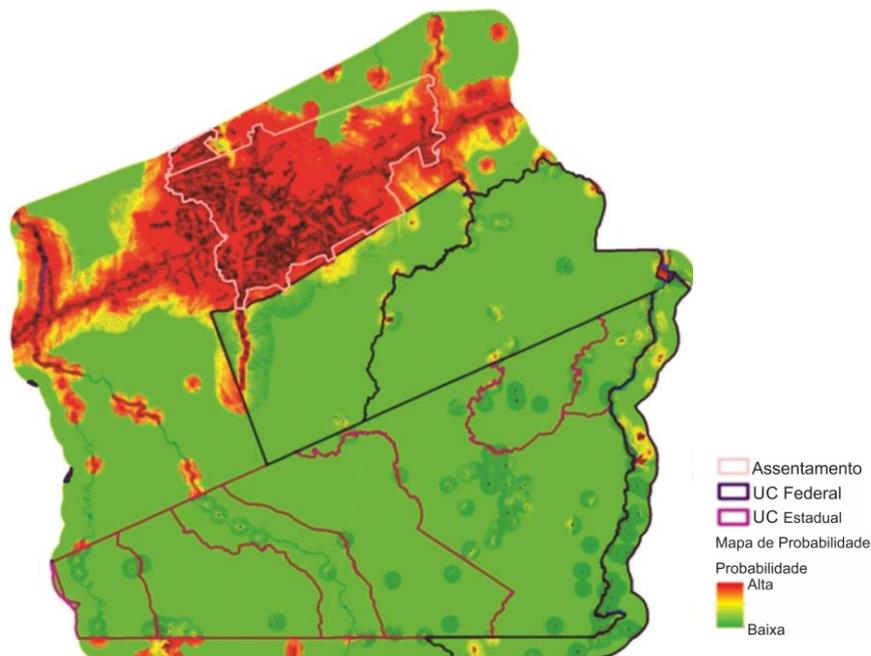


Figura 26: Mapa de probabilidade representando as probabilidades de ocorrência de desmatamento, segundo o método estatístico dos pesos de evidência.

6.3.1 PROCEDIMENTO DE ALOCAÇÃO DE MUDANÇAS

O processo de alocação de mudanças no DINÂMICA EGO foi realizado com base no mapa de probabilidade de transição, derivado dos pesos de evidência, e representa a possibilidade relativa de ocorrência de uma transição para cada célula. .

As probabilidades de transições espaciais foram calculadas para cada célula no mapa temático de uso/cobertura da terra e para a transição específica (floresta-desmatamento), representando a probabilidade de uma célula mudar do estado inicial para outro estado. Em seguida, os mapas de probabilidade de transição foram armazenados num conjunto de dados de saída, para então serem utilizados nas funções de alocação *expander* (função responsável pela expansão ou contração de manchas pré-existentes) e *patcher* (função formadora de novas manchas).

No procedimento de alocação de mudanças do AGROECO, as funções *patcher*, e *expander*, são responsáveis em transformar as taxas líquidas de desmatamento calculadas pelo VENSIM em taxas brutas (células que foram transicionadas).

A quantidade de células a serem modificadas numa determinada transição é dividida entre as funções *patcher* e *expander*, o qual foi estabelecido que 90% das células da transição (Floresta para Desmatamento) seriam aplicadas na função expansiva para que o desmatamento fosse representado o mais próximo ao processo de ocupação da terra observado, *in loco*, em Apuí. A quantidade restante de desmatamento (10%) foi alocada na função formadora de manchas, que representam as novas frentes de desmatamento.

O *patcher* e o *expander* possuem mecanismos que podem modular a forma e o tamanho das manchas. Esses mecanismos têm como parâmetros de entrada a variância, o tamanho médio das manchas e a isometria. Os valores de isometria podem variar de 0 a 2, assim, quanto mais próximos de 0, as manchas tendem a ter uma forma linear e, conforme aumenta o valor, as manchas tendem a ter uma forma mais isométrica. Neste estudo, os valores estabelecidos para a variância da dimensão das manchas, o tamanho médio das manchas e a isometria, foram respectivamente, 12 ha, 6,25 ha e 2.

6.3.1.2 CÁLCULO DA TAXA MÉDIA DE DESMATAMENTO PARA A SIMULAÇÃO EM APUÍ.

A taxa média de desmatamento foi calculada a partir de dados de desmatamento, floresta e de superfície de floresta fundiária (SFF) no mapa de cobertura da terra de 2000 e 2009, considerando a área de floresta remanescente dentro e fora da SFF. (Tabela 3).

Tabela 3: Área desmatada e de floresta remanescente dentro e fora da Superfície de Floresta Fundiária (SFF).

Local	Ano	Desmatamento (ha)	Floresta (ha)	Média da área de floresta
Dentro da SFF (buffer de 2 km das estradas)	2000	92913,5	438723,7	404822,3
	2009	160716,2	370921,0	
Fora da SFF (floresta remanescente excluindo a SFF)	2000	5169,6	5882348,2	5878241,2
	2009	13383,3	5874134,4	

Os cálculos do desmatamento médio anual (2000-2009) dentro e fora da SFF foram feitos utilizando as equações 1 e 2 de Yanai et al. (2012).

$$\text{Desmatamento dentro da SFF} = \frac{(\text{Desmat dentro da SFF}_{2009} - \text{Desmat dentro da SFF}_{2000})}{10} \quad (1)$$

$$\text{Desmatamento fora da SFF} = \frac{(\text{Desmat dentro da SFF}_{2009} - \text{Desmat dentro da SFF}_{2000})}{10} \quad (2)$$

Para a obtenção da taxa anual média de desmatamento dentro da SFF conforme o método utilizado por Yanai (2012) foi calculada a razão entre a média da área desmatada por ano dentro da SFF (equação 1) e a média da área de floresta dentro da SFF entre 2000 e 2009 (404822,0 ha). Deste cálculo obteve-se o valor de 0,01675 (1,7%) de floresta dentro da SFF foi desmatada por ano em um período de dez anos.

Do mesmo modo foi feito para a área de floresta fora da SFF, utilizando o valor obtido da equação 2 e dividindo pela média da área de floresta fora da SFF (5878241,3 ha) da Tabela 3. A taxa anual média de desmatamento fora da SFF obtida foi de 0,000139, significando que houve uma redução anual de aproximadamente 0,014% de floresta fora da SFF entre 2000 e 2009.

6.3 PROCESSO DE QUANTIFICAÇÃO DE MUDANÇAS

Esta fase consistiu em quantificar as mudanças por toda a paisagem, por meio do cálculo das taxas de transição. As taxas de transição demonstram a percentagem de transição, necessária para calcular a quantidade de células que foi mudada de estado por cada transição específica durante uma iteração. Este procedimento é realizado por meio da multiplicação do número de células de cada classe de uso da terra em um dado período de tempo pela taxa de transição.

O DINAMICA EGO executa o cálculo das taxas de transição dinâmicas transferindo no modelo por meio de um conector DINAMICA EGO-VENSIM. Desta maneira, pode-se acoplar taxas de transição à dinâmica de distribuição de classes de uso e cobertura da terra a cada iteração, permitindo modular a taxa ao longo da simulação. Logo após, o VENSIM repassa ao modelo AGROECO uma tabela com valores de taxas de transição associada ao uso da terra a cada iteração, com a finalidade de se obter uma matriz de transição com taxas flutuantes. Os estados da paisagem e a sua possível transição considerado neste estudo foi: floresta → desmatamento

6.3.2 CALIBRAÇÃO DO MODELO

O propósito desta etapa foi de verificar se a configuração do modelo AGROECO está apta a reproduzir padrões de mudança relacionados ao município de Apuí. A calibração, segundo Yanai (2010) apud Ryckiel (1996), é o processo que ajusta os parâmetros necessários à configuração de um modelo. Como o município de Apuí possui um processo ocupação relativamente antigo que permite inferir a tendência histórica do desmatamento nesta região, então, o modelo AGROECO foi calibrado seguindo a mesma abordagem aplicada por Barni (2009) que utilizou a própria área de estudo a fim de captar toda tendência de desmatamento da região e projetá-la na simulação. Em casos que em que o processo de ocupação de uma determinada área ainda é incipiente, é necessário realizar a calibração em outra área, para obter a tendência histórica do evento a ser estudado. Por exemplo, Yanai (2010) utilizou no processo de calibração uma área do Distrito de Santo Antônio do Matupi, em que a tendência história do processo de ocupação foi considerada favorável para simular o desmatamento na região da Reserva de Desenvolvimento Sustentável do JUMA, em cenários sem e com a sua criação.

Para o ajuste dos parâmetros do modelo AGRECO, as variáveis consideradas foram:

- a) Mapa de uso da terra inicial (Figura 19a)
Mapa de uso da terra final (Figura 19b)
- b) Mapas de variáveis estáticas (tópico 6.2.3)
- c) Mapa de estradas (Figura 21a e b);
- d) Pesos de evidência; (tópico 6.2.5);
- e) Mapas de atratividade e fricção (Figuras 25 e 26).

Na parametrização do modelo, foi utilizado um período de dez anos (2000 – 2009). O processo de calibração, em geral, é repetido até ajustar os parâmetros do modelo, tais como, os pesos de evidência e as taxas de transição para que o comportamento do modelo simulado se aproxime àquele observado no mundo real. Após a parametrização, o modelo foi executado para duas iterações (2009 a 2010) obtendo-se o mapa simulado final de 2010, e posterior processo de validação (Figura 27).

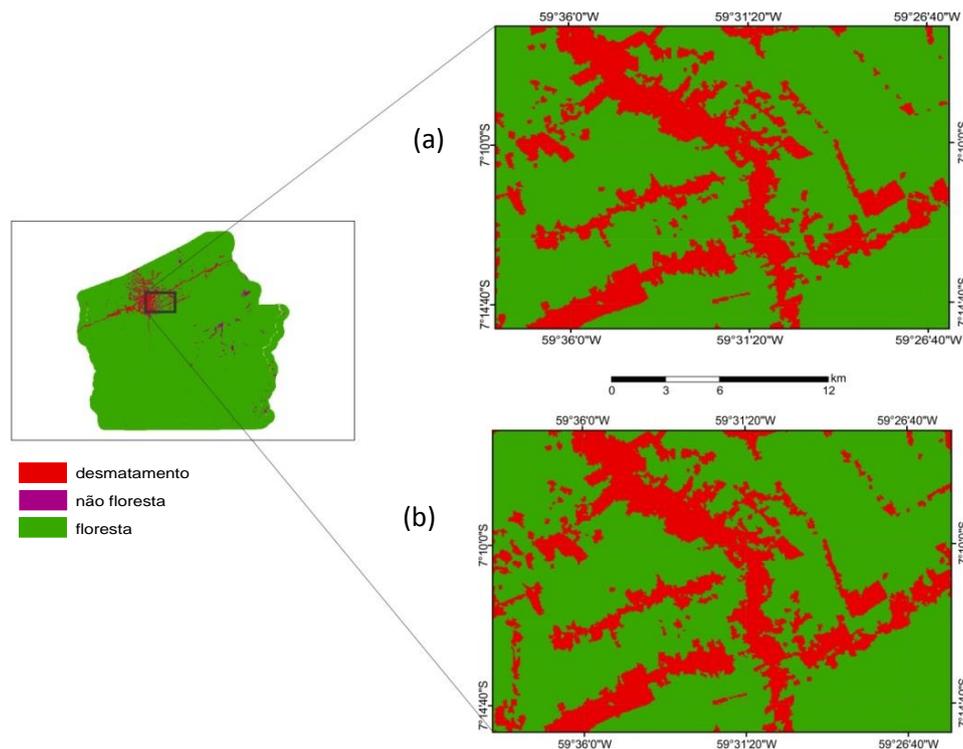


Figura 27: Mapa de referência PRODES 2010 (a) e mapa simulado para 2010 (b).

6.3.3 VALIDAÇÃO ESPACIAL DO MODELO

Após o processo de calibração do modelo foi feita a sua validação. A validação é o quanto o modelo responde em acurácia dentro daquilo que é proposto na modelagem realizada comparando a saída do sistema simulado com o que é observado no sistema real (MAZZOTI E VINCE, 2007; RYKIEL, 1996).

Para realizar a validação espacial do desmatamento foi utilizado o método de comparação denominado similaridade *fuzzy*, presente no DINAMICA EGO. Este método considera a localização e a categoria dentro de uma vizinhança (HAGENS, 2003), emprega uma função exponencial de decaimento, no qual se determina a distribuição de pesos de uma vizinhança em função da distância da célula central. Os índices de similaridade entre o

mapa real e o simulado podem variar entre 0 (total divergência) e 1 (mapas idênticos) (Figura 28). A concordância entre os mapas pode ser obtida por dois tipos de similaridade: máxima e mínima.

Na similaridade máxima, a comparação entre os mapas simulado e real tem como referência o mapa simulado. Por sua vez, na similaridade mínima, a comparação entre os mapas tem como base o mapa real. Para um maior rigor, foi utilizado como resultado o menor valor de concordância obtida pelos dois tipos de similaridade. Neste estudo, o mapa simulado final (2010) foi validado com o mapa obtido pelo PRODES (2010).

A validação pelo método *fuzzy* utilizou a função de decaimento constante com janelas de vários tamanhos (3x3, 5x5, 7x7, 9x9 e 11x11). Desta forma, se o número de células de mudança é encontrado dentro da janela, o ajuste terá valor igual a um independentemente da sua localização (SOARES-FILHO et al., 2009). As variáveis de entrada no modelo de validação foram: mapa do PRODES (2000 e 2010) e o mapa simulado (2010).

6.2.8 EXTRAÇÃO DE REDE DE DRENAGEM PARA DELIMITAÇÃO DE

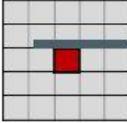
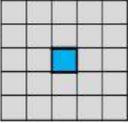
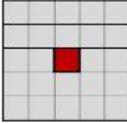
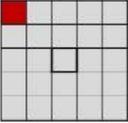
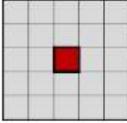
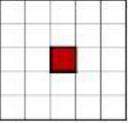
Real	Simulado	Descrição
		→ O valor da similaridade da célula central é 0 (zero), pois as células centrais (vermelha e azul) não pertencem à mesma categoria, e não existem células da mesma categoria (vermelha) na vizinhança
		→ O valor da similaridade da célula central é 0,50, pois as células centrais (vermelha e cinza) não pertencem à mesma categoria, mas existe uma célula da mesma categoria (vermelha) na vizinhança.
		→ O valor da similaridade da célula central é 1, pois as células centrais (vermelhas) pertencem à mesma categoria, apesar da diferença categórica das células vizinhas.

Figura 28: Possibilidades de resultados da validação entre os mapas simulado e real considerando a alocação de células.

ÁREAS DE PROTEÇÃO PERMANENTE (APP) UTILIZANDO A DISTÂNCIA AOS RIOS

Dentro do contexto de aplicação do Código Florestal Brasileiro, uma das unidades legais utilizadas para conservação do meio ambiente de uma unidade de paisagem é “Área de Preservação Permanente” (APP). A delimitação de áreas de APP é importante devido à preservação do local onde estas se encontram, sendo permitida a supressão da vegetação somente em casos de utilidade ou interesse social previstos de forma legal. A intervenção

humana em áreas de APP sem devido consentimento jurídico é considerada crime ambiental (SKORUPA 2003).

Existe uma grande dificuldade em demarcar APP atualmente, devido à falta de tecnologia apropriada para esta finalidade acarretando em delimitações muitas vezes não confiáveis (PINTO, 2008).

O programa computacional DINAMICA não contém, em seu arcabouço, ferramentas apropriadas para de delimitação de APP, desta forma, foi necessário elaborar um modelo para delimitar externamente estas áreas em ambiente SIG. Outra limitação que contribuiu para geração de um modelo hidrológico externo está relacionada aos mapas de cobertura da terra utilizados no modelo AGROECO oriundos do PRODES que possuem uma representação temática limitada da hidrografia. Estes mapas apenas classificam os rios de maiores largura presentes no município, o que inviabiliza estudos relacionados às APPs previstas no Código Florestal Brasileiro para os rios de menor largura.

O produto de interesse relacionado à extração de drenagem está associado à delimitação malha hidrográfica e posteriormente a largura dos rios da região de Apuí. Entretanto, nota-se que as bases de dados relacionadas à hidrografia na Amazônia, como a ANA, IBGE e SIPAM, exibem uma inconsistência no que diz respeito à densidade da hidrografia da região que se apresenta de forma heterogênea (Figura 29).

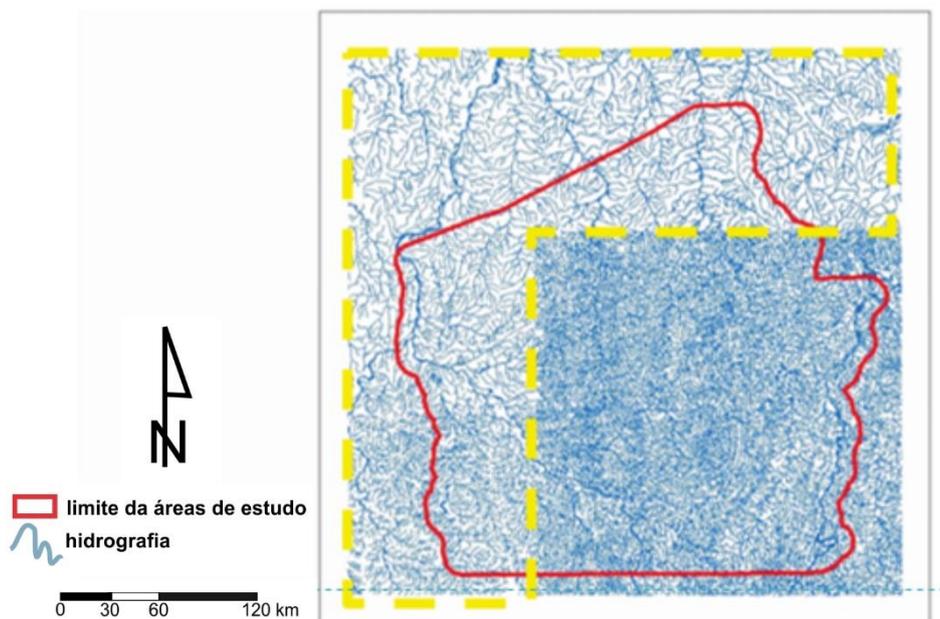


Figura 29: Representação da malha hidrográfica presente na base de dados da Agência Nacional de Águas (ANA), do município de Apuí, destacando em amarelo a delimitação as áreas com menor detalhamento do que as demais áreas da malha hidrográfica.

A delimitação e extração da malha hidrográfica de Apuí foram feitas com base nos dados do SRTM 4.1 com resolução horizontal de 90m. Na modelagem hidrográfica de Apuí utilizou-se um algoritmo elaborado no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) por Renó et al (2008) denominado de *Height Above the Nearest Drainage* (HAND). O HAND tem por objetivo gerar um modelo digital de elevação, considerando a altura acima da rede de drenagem mais próxima.

A extração da malha hidrográfica foi realizada seguindo as seguintes etapas:

Etapa 1: Aquisição do banco de dados do SRTM relacionado ao Município de Apuí, organização das imagens no programa QGIS em um mosaico projetado para a projeção geográfica Universal Transversal Mercator (UTM, zona 21S) e datum WGS 84. Conjunto de imagens SRTM utilizadas neste estudo para o mosaico de Apuí foi composto pelas seguintes cenas: S07W059, S07W060, S07W061, S08W059, S08W060, S08W061, S09W059, S09W060, S09W061 (Figura 30).

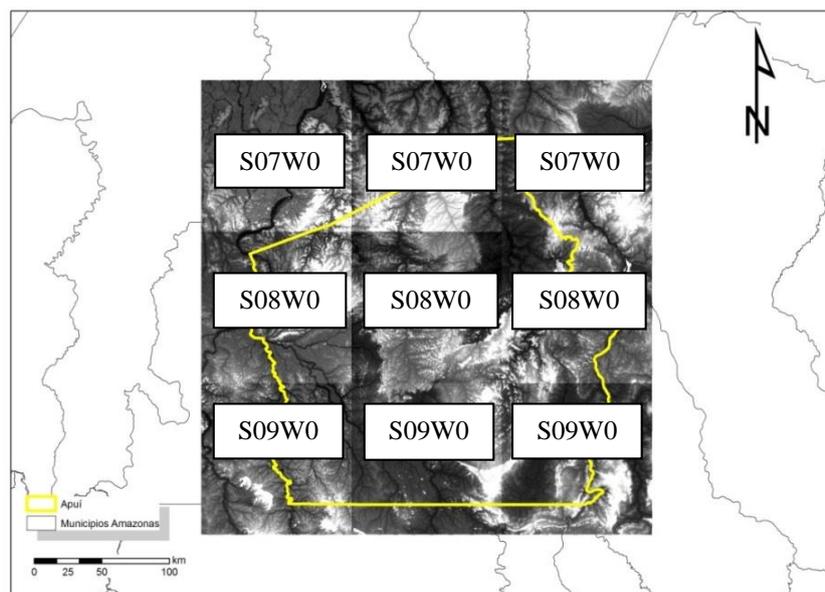


Figura 30: Mosaico de imagens SRTM 4.1 para município de Apuí

Etapa 2: Organização do banco de dados e recorte deste mosaico com a área de trabalho utilizando um limite estipulado a partir uma zona tampão (*buffer*) de 5 km em torno da área do município de Apuí no programa ARCGIS para que este se igualasse a área de trabalho utilizada no modelo AGROECO.

Etapa 3: Após a organização do banco de dados do SRTM o mosaico foi convertido para o formato *Geotiff* que mantém os dados de elevação originais das imagens. Foi feita uma correção de valores espúrios de *pixels* encontrados no SRTM utilizando a ferramenta de

correção presente no HAND denominada *fill* (por exemplo, valores iguais a -32767) com o objetivo de melhorar a aquisição da malha hidrográfica de Apuí, pois estes valores se forem mantidos na imagem poderiam causar um artefato na rede hidrográfica modelada (Figura 31).

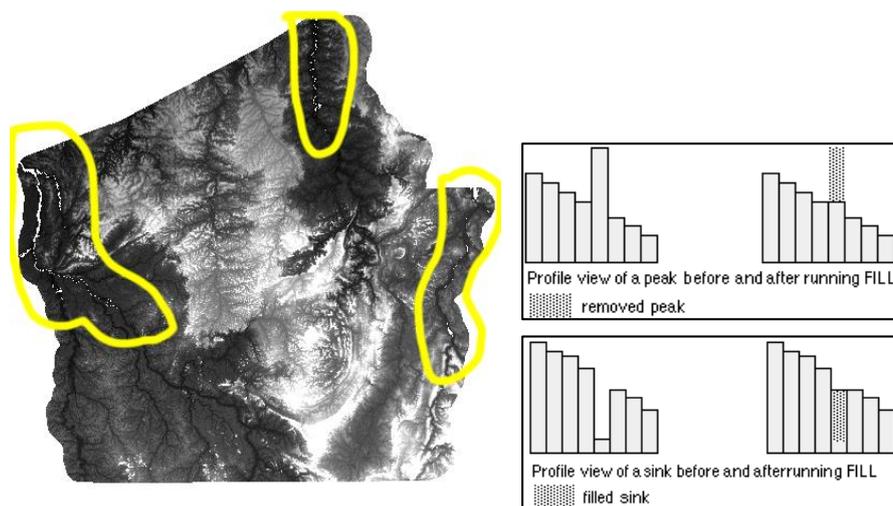


Figura 31: Preenchimento de valores com inconsistência, nas áreas circuladas em amarelo como exemplo, nos pixels da imagem usando a ferramenta *fill* do HAND.

Etapa 4: Após a correção dos valores espúrios foi possível modelar mais precisamente a malha hidrográfica de Apuí e o resultado desta modelagem possibilitou a criação de uma nova malha hidrográfica para o município, utilizada como base para a modelagem de áreas de APP (Figura 32). Contudo, a modelagem da hidrografia ou dos rios que a compõe, é representada em forma de linhas (vetorial) que descrevem o curso do rio e não apresentam outras características inerentes aos mesmos como, por exemplo, a sua largura. Neste caso, representar a largura dos rios foi de suma importância para estabelecer as áreas de APP ao longo dos cursos d'água. Outra característica da modelagem hidrológica é que a rede de drenagem apresenta como resultado dos rios modelados a sua divisão por ordens, que para Apuí apresentaram sete ordens diferentes.

O arquivo resultante da modelagem hidrográfica contém atributos de ordem relacionados aos rios. Com base nas ordens foi feita a separação dos rios e a sobreposição em imagens de satélite de alta resolução. Para isto, utilizou-se o programa QGIS acoplado a uma ferramenta denominada *Openlayers* que permite o uso das imagens disponíveis no banco de dados da *Google*. Para estimar a largura média dos rios, foram sorteados 30 pontos diferentes ao longo do curso de cada rio por meio da ferramenta *random points* no QGIS 1.8 (Figura 33a).

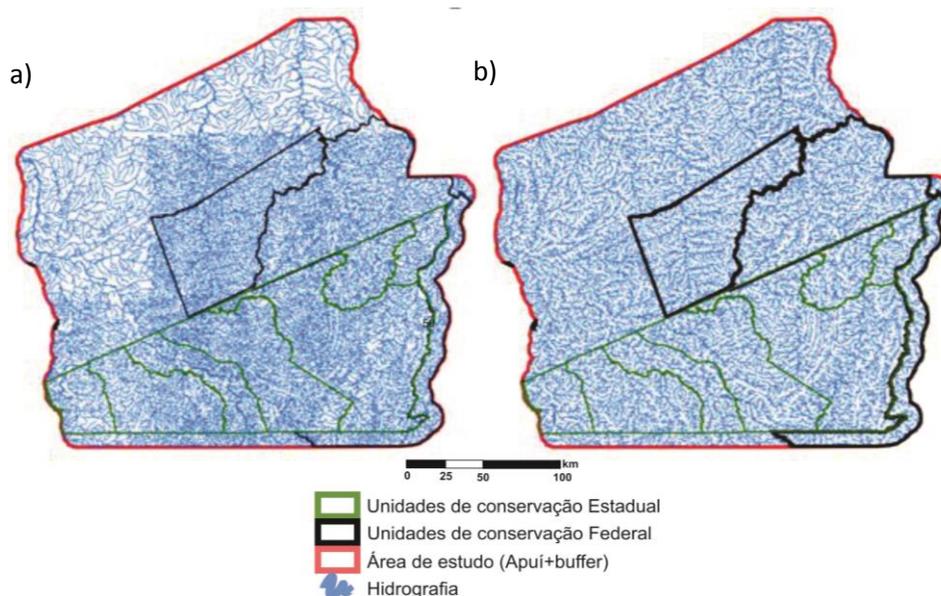


Figura 32: a) Malha hidrográfica de Apuí apresentando inconsistência na base de dados; b) Malha hidrográfica após correção feita pela modelagem hidrográfica, onde UCE e UCF significam, respectivamente, unidades de conservação estaduais e federais.

A amostragem foi realizada de acordo com um delineamento amostral estratificado considerando-se a densidade de rios em relação às ordens. Nos locais amostrados, foram feitas secções de 500 metros nos rios de maior ordem e de 50 metros nos rios de menor ordem de acordo com o tamanho em extensão destes rios. Em seguida, foi realizada a medição da largura das respectivas secções, estimando-se, posteriormente, a média de largura (Figura 33b).

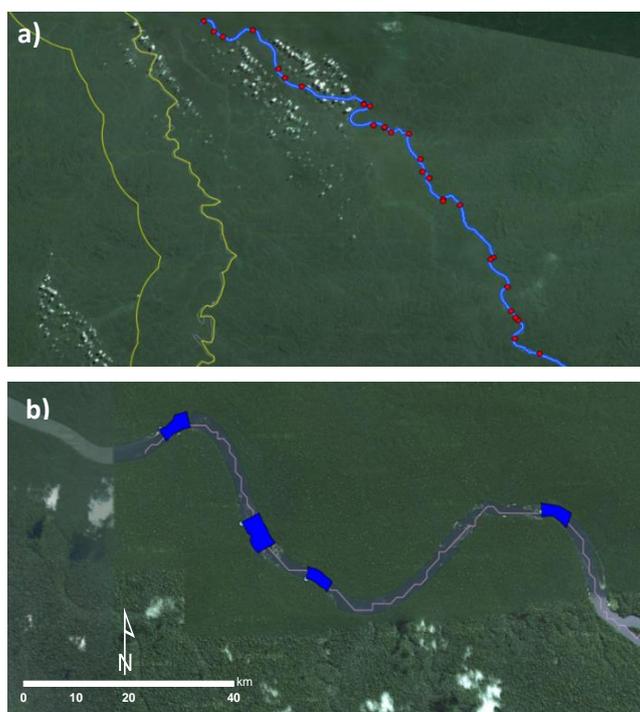


Figura 33: Exemplo de cursos de água visualizados em imagens alta resolução espacial proveniente da Google, com pontos randômicos em vermelho (a) para estabelecer as secções de medidas dos rios em azul (b)

Como resultado da amostragem, foram obtidas as médias de largura dos rios que posteriormente foram utilizadas para a modelagem das larguras dos rios a fim de calcular suas respectivas faixas de distância de APPs com base no Código Florestal Brasileiro (Figura 34 a, b, c) (Tabela 4).

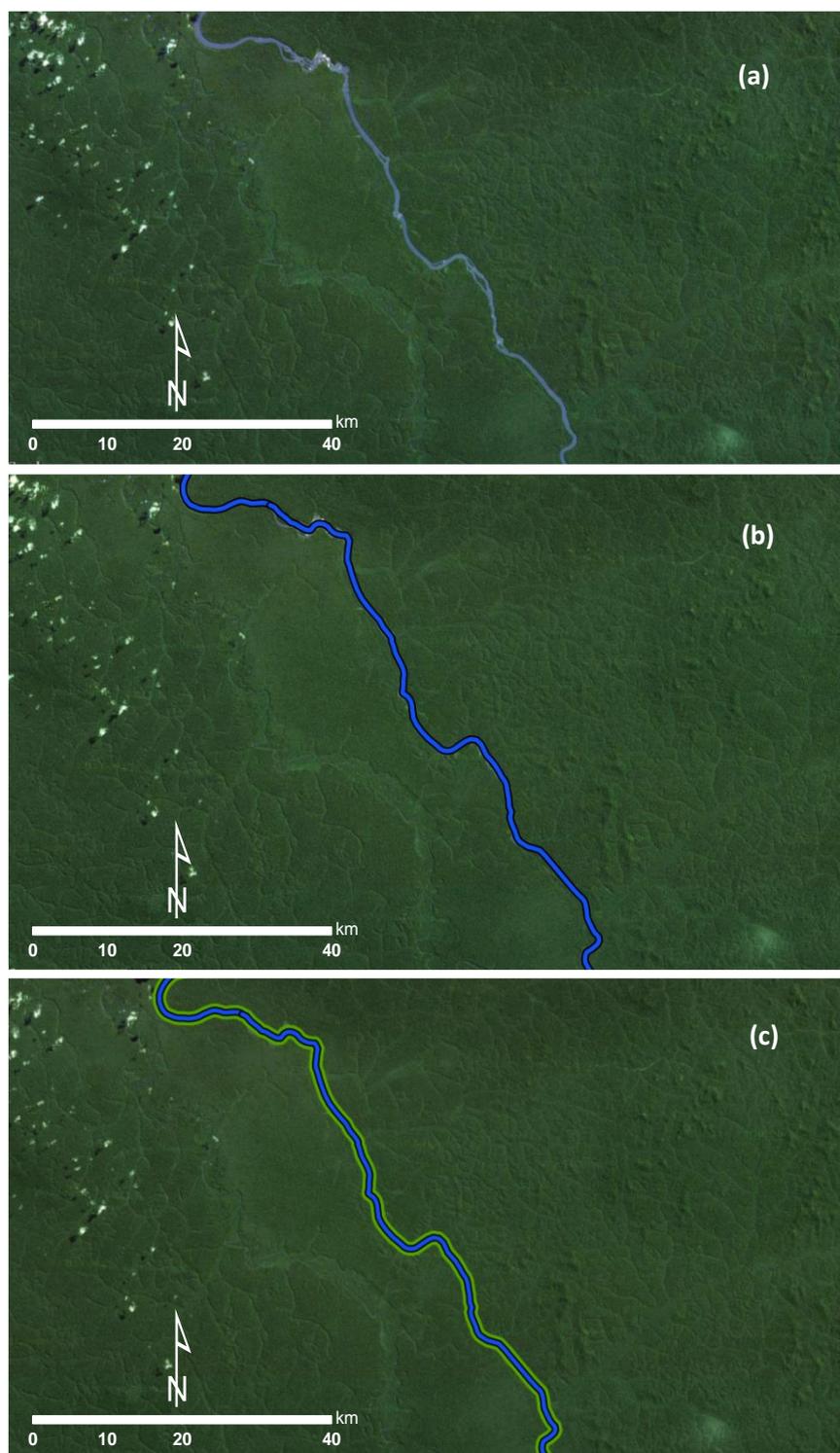


Figura 34: Exemplo de um curso de água do município de Apuí visualizado em imagens de satélite proveniente do banco de dados da Google, antes da modelagem hidrológica (a), após a rede hídrica ser modelada (b) e com APP delimitada (c)

6.2.9 DELIMITAÇÃO DAS FAIXAS MARGINAIS DE DISTÂNCIA DE APP EM RELAÇÃO À LARGURA DOS RIOS

O conceito de área de preservação permanente, também conhecidas como APP, pode ser determinado como:

“Áreas cobertas ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humana” (Código Florestal Brasileiro, 1965, p. 2).

A fim de que haja a proteção dessas áreas, foram estabelecidas faixas de distâncias dentro do Código Florestal Brasileiro que apesar de haver uma grande discussão sobre suas bases científicas (Tópico 4.2), ainda assim, é a única maneira conhecida em lei para não permitir o uso indevido dessas áreas.

Para obter o desmatamento nas áreas de APP, os resultados obtidos na simulação foram reconfigurados (reamostrados) para tamanho de célula de 30x30 metros para obtenção das taxas de desmatamento nas APPs. Esta resolução permitiu detectar os padrões de mudança no uso e cobertura da terra na área de estudo levando em consideração o tamanho de célula referente à largura mínima de APP considerada neste estudo.

Para delimitar as áreas de APP foram utilizadas as faixas de distâncias de rios, mensuradas conforme o procedimento explicado na seção anterior. As faixas de distância para as APPs aplicadas neste trabalho foram associadas à largura média dos rios estimada de acordo com a ordem e associadas às regras aplicadas pelo Código Florestal para demarcação dessas áreas (Tabela 4).

Com base nos resultado da estimativa de larguras médias dos rios no software QGis, foi elaborado um modelo baseado em conceitos de álgebra de mapas no *model building* do programa ARCGIS que possibilitou a automação dos processos de modelagem das APP a partir da malha hidrográfica reconfigurada.

Tabela 4: Largura média estimada dos rios e as faixas de APP de acordo com o Código Florestal Brasileiro.

Ordem	Largura de rios (m)	Média	Desv p	N SEC	N RIOS	APP (m)
1	<10	1,2	2,1	40	10	30
2	<10	3,3	1,9	40	10	30
3	<10	4,9	1,7	40	10	30
4	10 - 50	11,8	2,1	40	10	50
5	10 - 50	21,1	8,9	40	10	50
6	50 a 200	65,9	34,5	359	10	100
7	200 a 600	383,1	152,7	851	8	200
8	>600	920,2	314,9	282	4	500

Desv p (desvio padrão), N SEC (número de seções amostradas), N RIOS (número de rios amostrados)

A modelagem de APP utilizando a ferramenta *model building* foi feita dividida em cinco etapas que consistiram em:

- a) **Modelo de ajuste das classes de ordens dos rios de Apuí segundo as médias de largura:** Este modelo executou o ajuste das larguras dos rios pela modelagem hidrográfica feita no HAND (RENÓ et al, 2008). A partir desse ajuste, todo o banco de dados representado somente por polilinhas passou a ser representado por polígonos com as áreas dos rios sendo representadas segundo as suas larguras médias (Figura 35 a e b).

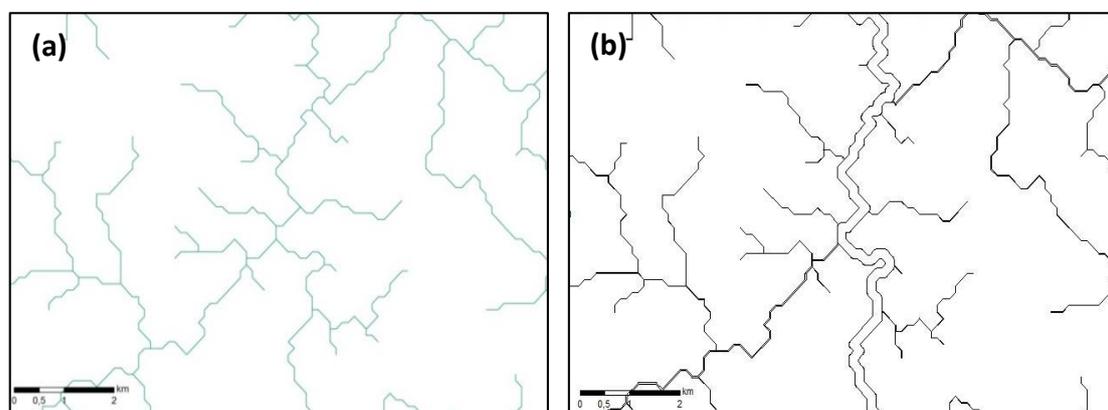


Figura 35: Representação da hidrografia em forma de linhas resultante do modelo hidrológico HAND (a) e a representação hidrográfica na forma de polígonos, resultante do modelo de ajuste no ARCGIS usando estimativa de largura médias dos rios (b).

- b) **Modelo de ajuste para superfície de mapas de cobertura da terra:** este modelo foi elaborado com intuito de sobrepor a hidrografia modelada para região do município de Apuí. Os resultados deste modelo foram novos mapas de cobertura da terra tanto para os mapas do PRODES quanto para aqueles simulados, considerando a redução das áreas das classes temáticas, ou seja, classe de floresta

(verde) desmatamento (vermelho) e consequente aumento na área da hidrografia (azul) (Figura 36).

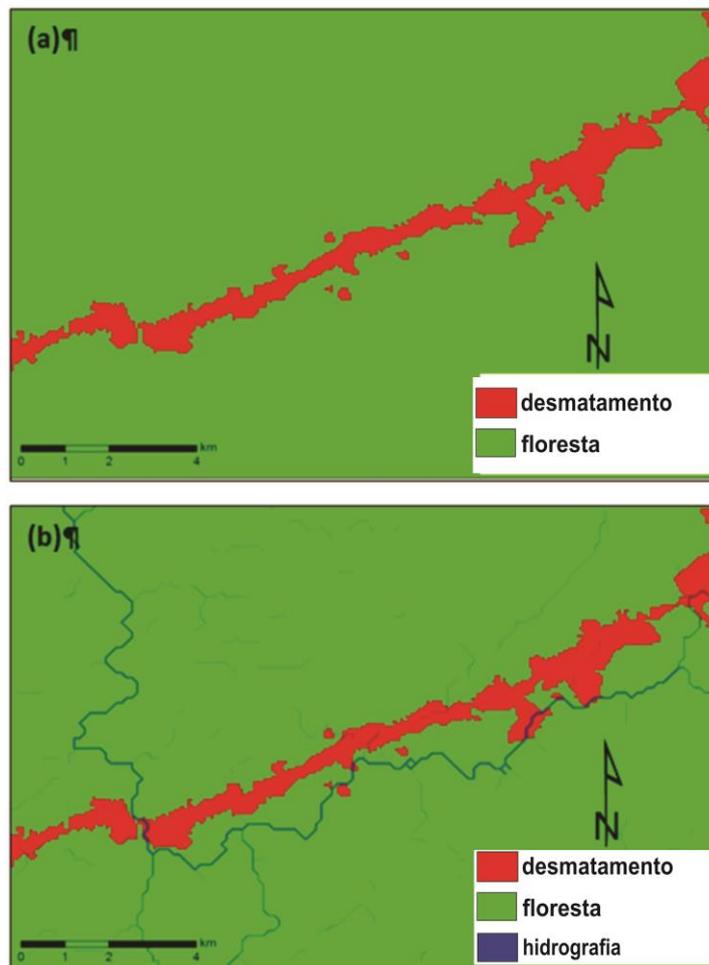


Figura 36: Exemplo de mapas do PRODES sem considerar a hidrografia reformulada (a) e considerando a hidrografia reformulada em azul (b).

Este procedimento foi necessário, pois os mapas de cobertura da terra derivados do PRODES possuem uma representação hidrográfica subestimada, não dispondo de informações sobre a rede hidrográfica de forma completa, exceto para os rios de maiores dimensões. Desta maneira, para efeito da simulação do desmatamento, o mapa inicial e os resultantes da simulação foram recalculados para fornecer as áreas de cobertura florestal e desmatamento acumulado considerando-se a nova malha hidrográfica modelada para cálculo de desmatamento dentro das APPs. Consequentemente, a inclusão da nova rede hidrográfica acarretará em alguma redução da estimativa de desmatamento em Apuí. Pois, algumas das áreas classificadas pelo PRODES como desmatamento coincidem com a rede hidrográfica modelada. Esta diferença de área entre o desmatamento com a

correção da malha hidrográfica para o PRODES foi de 47,13 km². Portanto, houve uma pequena redução (1,7%) do desmatamento quando aplicado a correção.

- c) **Modelo gerador de APP:** Este modelo foi idealizado para delimitar as áreas de APP a partir da nova hidrografia sobreposta nos mapas de uso. A principal característica deste modelo foi de gerar *buffers* em torno dos rios presentes na hidrografia já com suas áreas médias calculadas de acordo com a tabela 4 apresentada anteriormente (Figura 37).

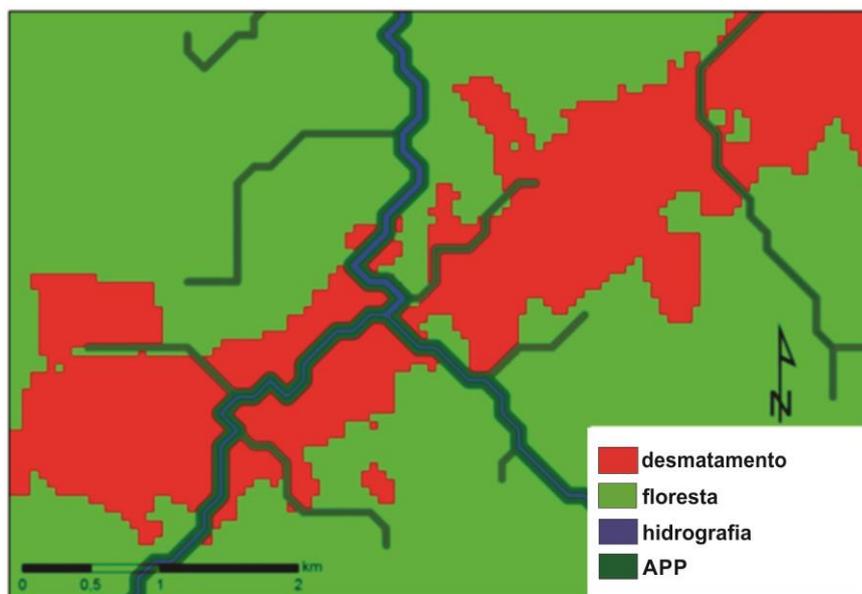


Figura 37: Mapa de cobertura da terra considerando largura média de hidrografia e APP modelada segundo o critério estabelecido no Código Florestal ao longo dos cursos d'água.

- d) **Correção de sobreposição e áreas de APP:** Verificou-se após a modelagem, que em algumas áreas haviam ocorrido sobreposições e que isto acarretava na superestimava de classes (floresta e desmatamento) nas áreas sobrepostas quando estas ocorriam nas APPs. Para se corrigir esta superestimava, foi necessário eliminar os locais de sobreposição (Figura 38).

Além das áreas sobrepostas, algumas áreas de APP foram modeladas dentro da área de rios de maiores ordens. Porém, as APPs são delimitadas no entorno do curso dos rios não dentro, por este motivo este erro também foi corrigido.

- e) **Correção de sobreposição de APP:** Considerou-se a área do rio de maior largura para o de menor onde a intersecção foi eliminada usando somente a área do rio de maior largura eliminando a possibilidade de uma superestimava de áreas de APP (Figura 39).

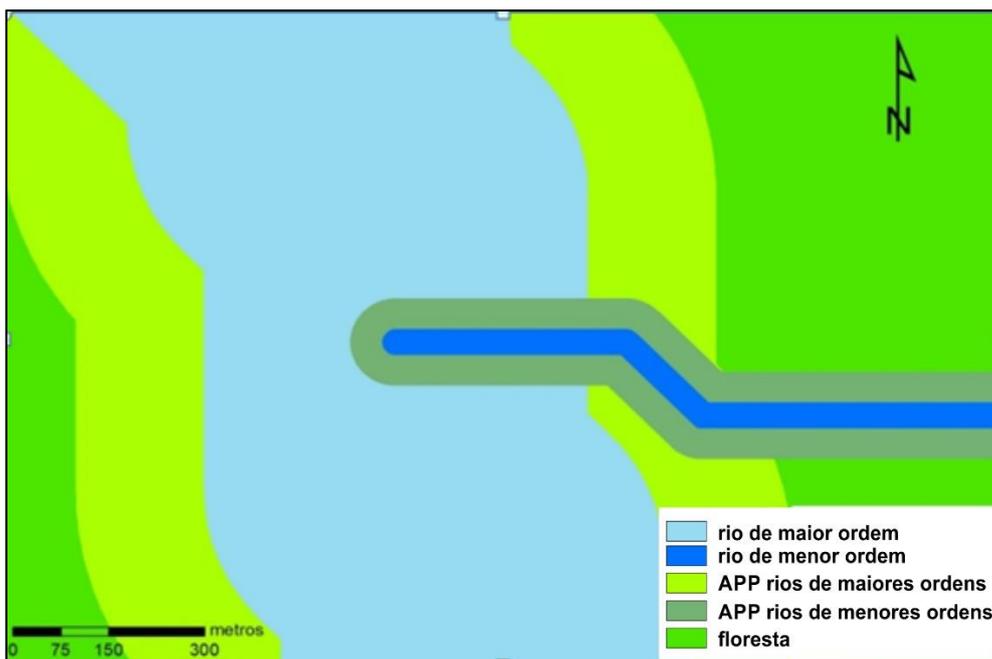


Figura 38: Exemplo ilustrativo da área de rio e APP sobrepostas por rio de menor ordem, observado após a modelagem.

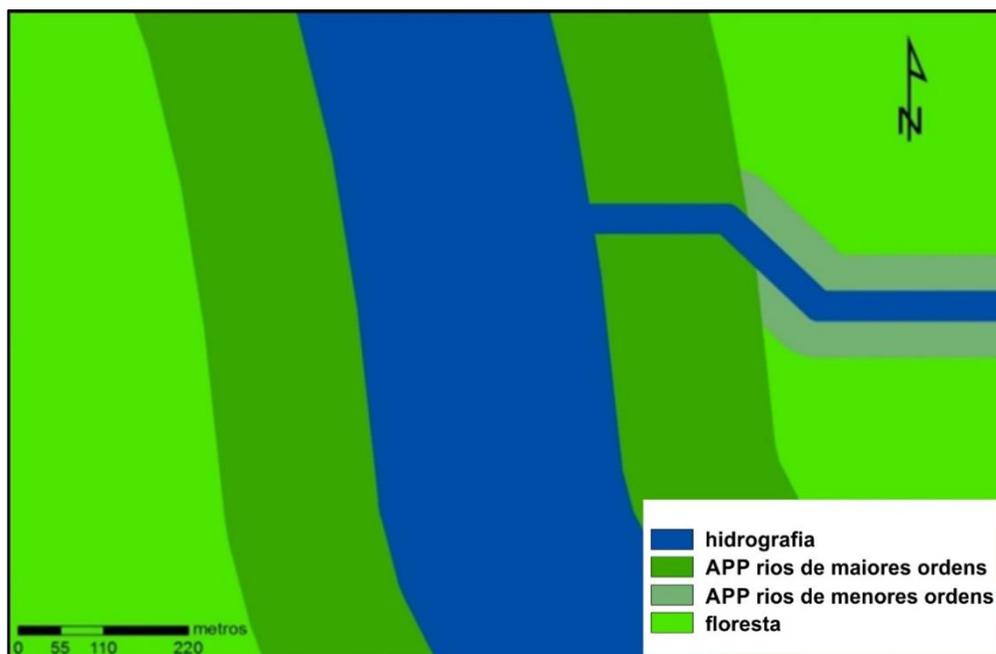


Figura 39: Exemplo ilustrativo da área de APP após a correção da superposição do rio de menor largura sobre o de maior, mantendo-se, prioritariamente, a área de APP de maior largura sobre a de menor.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os tópicos a seguir apresentam a validação do modelo e os pesos de evidência (item 7.1); a simulação do desmatamento e o estado de conservação das APPs, considerando a região de influência (buffer de 5 km) das áreas de entorno do município (item 7.2). Em seguida, foram considerados apenas os resultados encontrados para o município sem a área de influência (item 7.3), e por último concentrou-se a análise somente para o PA do Juma (item 7.4) e as unidade de conservação existentes no município (item 7.5).

7.1 AVALIAÇÃO DO MODELO QUANTO A SUA ACURÁCIA

Os valores obtidos pela validação do modelo utilizando o método *Fuzzy* de similaridade máxima variaram entre 96% (janelas 3x3) a 99% (janela 11x11) (Figura 40). No entanto, para um maior rigor, foi utilizado a similaridade mínima onde a comparação é feita entre os mapas real e o simulado, tendo como base o mapa real e os seus padrões espaciais de mudanças. Nesta abordagem, os valores de similaridade mínima variaram entre 45% (janelas 3x3) a 88% (janela 11x11) (Figura 41). Vitel (2009), Barni (2009) e Aurora et al. (2012) consideraram como um bom ajuste espacial um valor acima de 50% de similaridade mínima para uma janela de 5x5, utilizando mapa com células de 500m, 250m e 120 m de resolução espacial respectivamente.

O método *Fuzzy* de validação, com base em Soares-Filho et al. (2009), foi empregado para verificar as similaridades entre os mapas real e simulado. Portanto, faz uma avaliação somente no ajuste espacial das mudanças de um mapa em relação ao outro. É necessário também verificar a quantidade de células que foi modificada de um estado para o outro, ou seja, quantificar a mudança.

No modelo Agroeco/Apuí, a transição avaliada foi de floresta para desmatamento. As diferenças percentuais entre a quantidade de mudança para essa transição observada no mapa de referência (PRODES) e o simulado são apresentadas na Tabela 5. A maior discrepância entre os dados simulados e o de referência foi para a classe de desmatamento, totalizando 54807 células a mais no mapa simulado (erro de 9,8%). Foi considerado que este percentual de erro como um bom ajuste quantitativo entre os mapas.

Aurora et al. (2012) obtiveram um ajuste de 64,1% para similaridade máxima e 57,1% para similaridade mínima em uma janela de 5x5 entre o mapa de referência e o mapa simulado para a transição floresta para desmatamento. Vitel (2009) obteve um ajuste de 54% e uma janela de 5x5 para similaridade mínima e 56% para a similaridade máxima e

Barni (2009) obteve um ajuste de 54 % em uma janela de 7x7 para similaridade mínima. Comparando-se aos resultados para validação destes modelos, pode-se considerar que, o modelo Agroeco/Apuí foi validado pois, para a similaridade mínima, em janelas de 5x5 com tamanho de célula de 30m o resultado da validação foi de 57% e para similaridade máxima foi de 69%.

Tabela 5: Erro percentual entre a quantidade de células do mapa simulado e o real (PRODES - 2011).

Classes	2010		%
	Mapa PRODES Total de células	Mapa simulado Total de células	
Floresta	1709704	1703581	0,3
Desmatamento	502828	557635	9,8

No entanto, Yanai (2010) e Mazzotti e Vince (2007) demonstraram em seus trabalhos que não há um método de calibração e validação ideal para modelagem espacial. Desta maneira, o grau de confiança de cada modelo está correlacionado com os propósitos estabelecidos para cada modelagem. Além disso, os erros também serão reduzidos em função da disponibilidade da área de alguma classe (floresta) que diminui ao longo do processo de simulação, portanto, quanto maior o número de iterações maior o ajuste entre o real e o simulado (YANAI et al., 2012).

Observando-se a propagação de erro e incertezas em modelos baseados em autômatos celulares, Yeh e Li (2003) encontraram uma redução de 5% no erro entre os resultados simulado na primeira iteração e após 30 iterações.

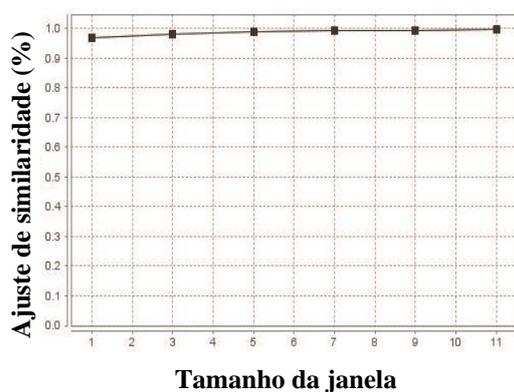


Figura 40: Valores da similaridade máxima resultantes entre o mapa simulado e o mapa real PRODES 2011.

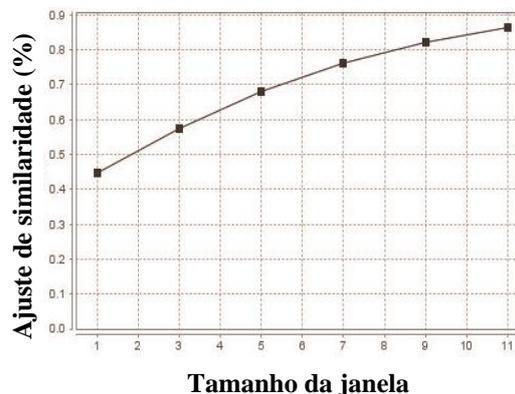


Figura 41: Valores de similaridade mínima resultantes entre o mapa simulado e o mapa real PRODES 2011.

7.2 PESOS DE EVIDÊNCIA

Os resultados dos coeficientes dos pesos de evidência são apresentados em seguida de acordo com as variáveis consideradas para a modelagem realizada.

Distâncias às estradas: Existe uma grande influência das estradas na ocorrência do desmatamento na região estudada isso pode ser observado na Figura 42. Em Apuí o desmatamento alcançou distâncias de até 2,9 km e o peso de evidência foi maior próximo às estradas, significando uma influência positiva para a variável estrada sobre a variável desmatamento. Provavelmente este resultado pode estar relacionado com a disponibilidade de floresta ao longo das estradas principais do município (AM-174 e BR-230) principalmente ao longo da BR-230 que percorre uma área do município de floresta não destinada, ou seja, sem proteção facilitando o acesso a novas áreas a serem desmatadas.



Figura 42: Pesos de evidência calculados para as distâncias do desmatamento às estradas.

A influência das estradas em relação ao desmatamento também foi observado por autores como Ferreira (2001) que encontrou curvas exponenciais do desmatamento em função da distância das estradas e Nepstad et al. (2001) que demonstraram que três quartos dos desmatamentos entre 1978 e 1994 ocorreram dentro de uma faixa de 100 km de largura ao longo das rodovias BR 010 (Belém-Brasília), BR 364 (Cuiabá-Porto Velho) e PA 150. Yanai (2011), também obteve uma correlação positiva para proximidade do desmatamento com as estradas em uma faixa de até 3,6 km de distância. Barni 2009, em seu estudo também evidenciou a proximidade com as principais estradas da região de Rorainópolis (BR-174 e BR-210) como sendo um fator importante para o desmatamento em conformidade com estudos de (Soares-Filho et al., 2001; 2002; 2003; 2004; 2005 e 2006; Escada & Alves 2001; Geist & Lambin, 2002; Lambin et al., 2003; Ewers & Laurance, 2006; Fearnside et al., 2009).

Distância ao desmatamento: Os pesos de evidência indicam que o desmatamento tem maior probabilidade de ocorrer próximo a áreas já desmatadas com distâncias inferiores a 17 km. (Figura 43). Comparando-se com o estudo feito por Barni (2009) feito em Rorainópolis, observa-se que o desmatamento, de igual maneira, é favorecido pela proximidade com locais previamente desmatados e Yanai (2009) e Yanai et al. (2012) observaram que o desmatamento teve maior probabilidade de ocorrer próximo a áreas previamente desmatadas, mas a uma distância de 1500 m para a região da RDS do Juma.

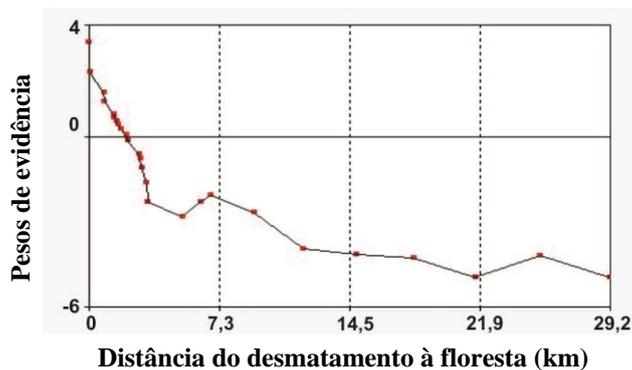


Figura 43: Pesos de evidência calculados para distâncias às estradas em relação às classes floresta e desmatamento.

Distâncias aos rios: Os pesos de evidência (Figura 44) não demonstraram um padrão de tendência estabelecido variando ao longo das distâncias entre pesos positivos e negativos. Os valores positivos até cerca de 4 km de distância aos rios podem estar associados à influência das comunidades ribeirinhas. No entanto, pesos positivos para distâncias acima podem ter sido influenciados por áreas desmatadas em assentamentos próximos aos rios. Barni (2009) obteve uma faixa de distância com probabilidade de ser desmatada em torno de 11 km e observou que nesta faixa estavam presentes comunidades ribeirinhas que utilizam os rios como forma de escoamento de sua produção.

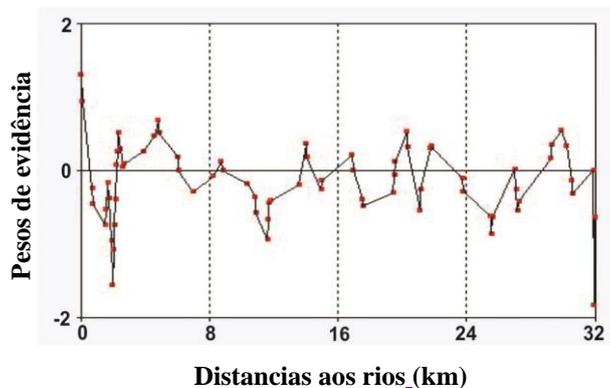


Figura 44: Pesos de evidência calculados para cada iteração do modelo para distância com relação a distância aos rios.

Solos: O coeficiente dos pesos de evidência para as transições de floresta para desmatamento em relação aos solos (Figura 45) foi próximo de zero ou abaixo de zero, com exceção do Latossolo vermelho-amarelo que apresentou valor levemente positivo. Provavelmente por ser o tipo de solo predominante nas áreas de assentamento, onde a atividade de desmatamento é maior. Barni (2009) observou que a maioria dos solos componentes de sua região de estudo, também, não teve forte influência sobre o desmatamento com exceção dos Cambissolos e Neossolos com valores acima de zero onde foi detectada a influência para o desmatamento.

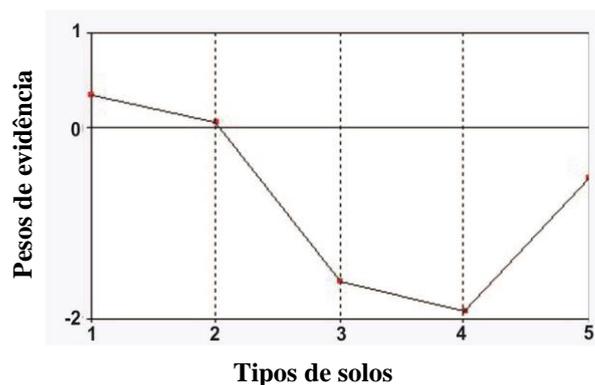


Figura 45: Pesos de evidência calculados para cada iteração do modelo para os diferentes tipos de solos: Latossolo Vermelho-Amarelo (1), Gleissolo (2); Neossolo (3); Argissolo Vermelho-Amarelo (4).

Declividade: A maior parte do município de Apuí apresenta baixa declividade e o desmatamento, segundo o resultado obtido pelos pesos de evidência, ficou concentrado em regiões com três a seis graus de inclinação (Figura 46). Yanai (2009) analisando a influência da declividade para a região da RDS do Juma, que inclui ao sul parte do PA do Juma em Apuí, observou que a relação declividade desmatamento foi positiva para regiões entre três a 14 graus de inclinação e que o relevo não se torna um fator limitante ao desmatamento. Por sua vez, Barni (2009) observou-se que em sua região de estudo em Roraima o desmatamento provavelmente está concentrado em áreas com inclinação de terreno variando entre dois a quatro graus.

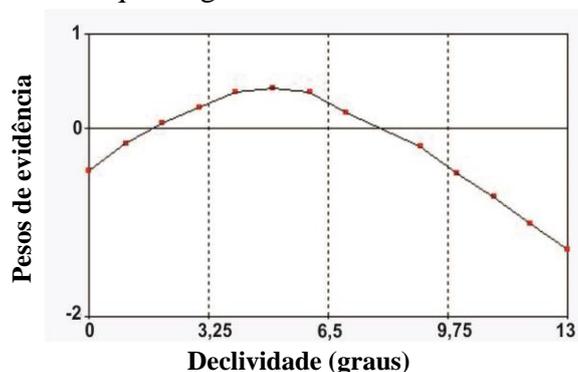


Figura 46: Pesos de evidência calculados para transição floresta desmatamento de acordo com a declividade.

Altitude: Os pesos de evidência calculados para altitude demonstram que o desmatamento tem maior probabilidade de ocorrer em áreas com altitude menores do que 70 m e próximas de 220 m (Figura 47). Yanai (2009) observou na região da RDS do Juma que o desmatamento ocorreu em altitudes de até 10m e superiores a 140m. Barni (2009), em uma subárea do sul do Estado de Roraima, constatou que o desmatamento ocorreu em altitudes que variaram em faixas entre 100 a 110m e 120 a 250m. Por não haver grande amplitude da variação de altitude, acredita-se que esta variável não seja fator limitante para ocorrência de desmatamento no município de Apuí.

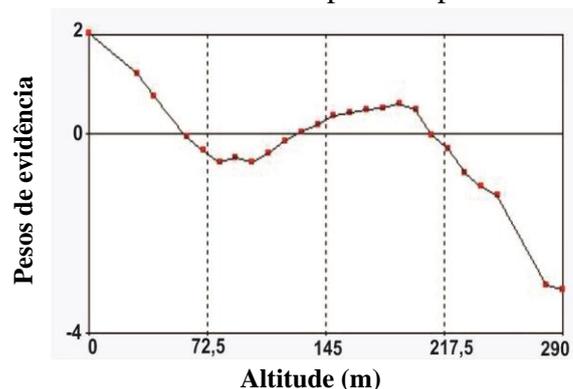


Figura 47: Pesos de evidência calculados de acordo com a variável altitude para transição floresta para desmatamento.

Tipos de vegetação: Para as formações florestais (Figura 48) presentes no município de Apuí, a Floresta Ombrófila Aberta Submontana foi a única que se apresentou favorável para ocorrência de desmatamento, segundo o coeficiente dos pesos de evidência, uma vez que é a formação florestal predominante no PA do Juma. O que explica a influência positiva no peso de evidência, considerando-se que é uma área altamente suscetível ao desmatamento, por se tratar de um projeto de assentamento.

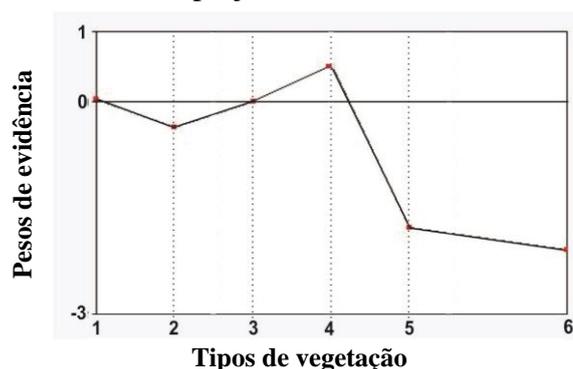


Figura 48: Coeficientes dos pesos de evidência calculados para cada transição em relação às classes de vegetação. (1) Floresta ombrófila densa terras baixas, (2) Floresta ombrófila densa aluvial, (3) Floresta ombrófila densa submontana; (4) Floresta ombrófila aberta submontana; (5) Formações não-florestais; e (6) Floresta estacional submontana.

As demais formações florestais apresentaram pesos negativos ou quase nulos em relação a susceptibilidade ao desmatamento. De acordo com Yanai (2009), para região da RDS

do Juma, os tipos de vegetação em que o peso de evidência demonstrou maior susceptibilidade ao desmatamento foram: Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas e Floresta Ombrófila Aberta Submontana, formações florestais também predominantes naquela região.

Unidades de conservação: Em relação à categoria de unidade de conservação, os pesos de evidência para esta variável mantiveram-se negativos para todas as unidades, indicando repulsão ao desmatamento, com exceção da Floresta Nacional que apresentou valor positivo (Figura 49). A ocorrência favorável de desmatamento, indicado pelo peso positivo, é consequência da Flona do Jatuarana que apresenta um trecho de estrada, uma continuidade da AM-174, que adentra o seu interior, possibilitando o acesso à floresta. Próximo a essa estrada estão localizadas a maior parte das áreas desmatadas da Flona. Entretanto, é importante observar que o desmatamento na área da FLONA é anterior à data de criação em 2002 (Decreto s/nº de 19 de setembro de 2002).

De acordo com Vitel (2009), as unidades de conservação (UC) de uso sustentável, tal como as florestas nacionais, são mais suscetíveis à ocorrência de desmatamento dentro dos seus limites. Yanai (2009), também, encontrou nestas UCs de uso sustentável um nível menor de proteção em relação aos demais tipos de unidades de conservação e terras indígenas presentes em na região da RDS do Juma (RDS do Juma + buffer 120 km). Barni (2009) também corrobora com esse resultado, observando que as UCs de uso sustentável foram mais suscetíveis ao desmatamento em sua região de estudo, principalmente, a FLONA Jauaperi.

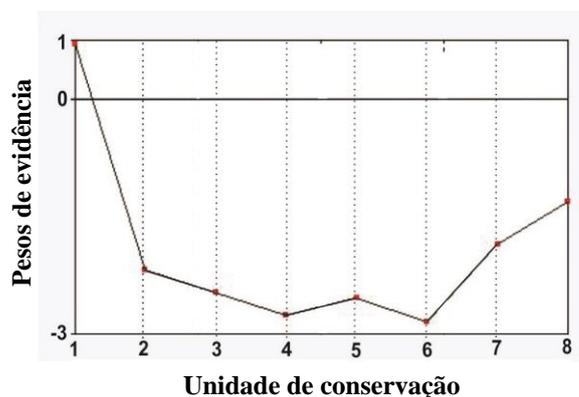


Figura 49: Pesos de evidencia calculados para as unidades de conservação e Terra Indígena:– Floresta Nacional (1), Reserva de Desenvolvimento Sustentável (2); Floresta Estadual (3); Parque Estadual (4); Reserva Extrativista (5); Parque Nacional (6); (7); e Terra indígena (8).

7.2 CENÁRIO LINHA DE BASE PARA APUÍ COM TENDENCIA HISTÓRICA DO DESMATAMENTO E AREA DE ENTORNO (BUFFER DE 5KM)

No cenário linha de base não foi previsto nenhum tipo de grande empreendimento na região. Embora Apuí apresente trechos de duas grandes rodovias, a AM-174 (que liga Novo Aripuanã a Apuí) e a BR-230 (rodovia Transamazônica) em sua área, não há para região do município nenhum planejamento para a melhoria dos trechos dessas estradas ou o planejamento de novas estradas por parte do Governo Federal no período de modelagem escolhido, ou seja, entre 2009 a 2030. Isto difere de modelos anteriores que utilizaram o AGROECO como Fearnside et al. (2009) que consideram a reconstrução ou pavimentação da BR-319 na ALAP, ou Yanai et al. (2011) que considerou a introdução de uma unidade de conservação, a RDS do JUMA, como base para explicação para o desmatamento ou contenção do mesmo nas respectivas regiões de estudo. Apesar de apresentar similaridades entre as áreas estudadas, não foram utilizados os conceitos aplicados nestes trabalhos, em relação a cenários alternativos considerando impacto de obras de infraestrutura ou criação de reservas de proteção ambiental, pois os mesmos não se aplicam em cenários do tipo “linha de base”.

Como resultado obtido para o desmatamento simulado, considerando o município e sua área de influência do entorno (Apuí+buffer de 5km), foi de 2727,9 km², ao final da simulação, ou seja, 30 anos (Tabela 6), representando um aumento de 53,3% em relação ao desmatamento acumulado até 2009.

Em 2009, a cobertura florestal perfazia uma área equivalente a 60728,7 km², sendo reduzida ao final dos 30 anos simulados para 59772,9 km², ou seja, uma perda relativa de 1,6% da cobertura florestal. Apesar do desmatamento acumulado ter aumentado em mais de 50%, a perda relativa no período foi baixa, em consequência do município e sua a área de entorno (5km) em grande parte permanecer preservada em sua área coberta por florestas (97%).

Tabela 6: Área de floresta remanescente e desmatamento acumulado no mapa inicial (2009) e simulado (2039) na área total de estudo (município e buffer)*.

Classes temáticas de acordo com o PRODES	Mapa inicial 2009 (km ²)	Mapa final 2039 (km ²)	Percentual (%) em relação ao mapa inicial (2009)
Floresta	60728,7	59772,9	1,6
Desmatamento acumulado	1779,4	2727,9	53,3

*Considerou-se para efeito de cálculos, as áreas de floresta e desmatamento corrigidos para hidrografia modelada.

Observando-se as tabelas 7 e 8, é possível notar que a faixa de APP menos degradada foi a 200m com uma área de 1,2 km² desmatada (1,3%) de perda da área original da APP para a simulação até 2039 e 1,1 km² (1,1%) para o PRODES 2009. As APPs mais degradadas foram as de 30m de faixa de largura, ou seja, no entorno de rios menores do que dez metros (de acordo com o CFB) com uma perda de 81,2 km² no PRODES 2009 (3,1%) e 116,2 km² para a simulação até 2039 (4,5%) de área total de APP.

Contudo, nota-se que apesar do aumento do desmatamento ser maior nas áreas de APP de 30m tanto para o PRODES quanto para a simulação até 2039, o desmatamento nas áreas de APP de 30m para área total do município equivale a somente a 0,12% para o PRODES 2009 e 0,18% a simulação do desmatamento até 2039.

Tabela 7: Área desmatada acumulada nas APP até 2009 PRODES na área de estudo (Município + Buffer)

Faixas de largura de APPs	Área original da APP(km ²)	Área desmatada na APP (km ²)	Percentual desmatado	Percentual desmatado por total de APP
30m	2603,9	81,2	3,1	2,2
50m	501,6	15,2	3,0	0,4
100m	103,0	8,3	8,0	0,2
200m	94,9	1,1	1,1	0,03
500m	350,8	12,6	3,6	0,4
Total	3654,2	118,4	3,2	3,2

Tabela 8: Área desmatada em APP no mapa simulado final em 2039 (Município +Buffer).

Faixas de largura de APPs	Área original da APP(km ²)	Área desmatada na APP (km ²)	Percentual desmatado	Percentual desmatado por total de APP
30m	2603,9	116,2	4,5	3,2
50m	501,6	24,6	4,9	0,7
100m	103,0	14,0	13,6	0,4
200m	94,9	1,2	1,3	0,03
500m	350,8	17,0	4,8	0,5
Total	3654,2	173,0	4,7	4,7

Pode-se observar na figura 50, o mapa de Apuí e área de entorno representando o desmatamento antes da simulação (PRODES 2009) e ao final da simulação, para o ano de 2039. A delimitação de um buffer de 5km² em torno do município de Apuí foi feita com intuito de observar o quanto as áreas circunvizinhas contribuíram para o desmatamento.

Para resultados obtidos considerando-se apenas em relação ao buffer, nota-se que esta área contribuiu com 89 km² de área desmatada (5,7%) para o PRODES 2009 e 141,53 km² de área desmatada para o simulado final em 2039 (5,5%). Em relação à floresta, a área do buffer contribuiu com 9767,6 km² (19,6%) de área para o PRODES 2009 e 9713,6 km² (19,4%) de área para o simulado final em 2039.

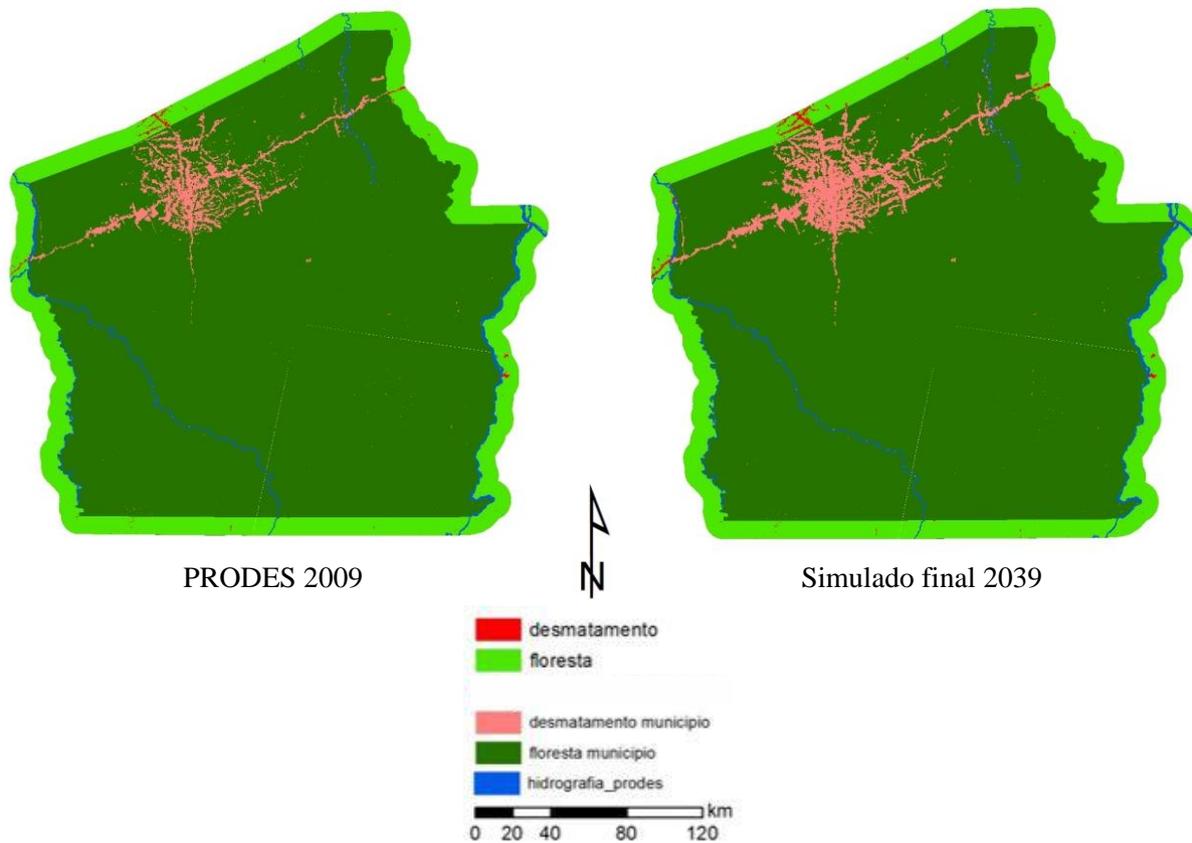


Figura 40: Desmatamento em Apuí considerando o buffer de 5km, antes (2009) e ao final da simulação (2039).

A inclusão da área do buffer em torno do município, não alterou a projeção do cenário para o desmatamento, ou seja, a área de entorno escolhida não exerceu grande influência no desmatamento para Apuí, permanecendo com a taxa de desmatamento maior dentro dos limites do PA do JUMA. Contudo, pode-se observar que, apesar do buffer não ter exercido forte influência no desmatamento em relação ao município, em algumas áreas ficou evidente que o aumento do desmatamento na área do buffer influenciou o resultado localmente.

Na figura 51, observa-se o desmatamento na porção norte do município. Para esta região o buffer contribuiu com 43,3 km² (48%) em relação ao desmatamento inicial total ocorrido apenas no buffer (89 km²) do município. Enquanto que, para o simulado final

(2039), o buffer para a mesma região norte contribui com 77 km^2 (54,5%) em relação ao desmatamento final total para o buffer ($141,53 \text{ km}^2$). Grande parte deste desmatamento está associada à influência da atividade humana na área do PA do Acari. A área do buffer nesta região abarca parte do PA do Acari que faz divisa com o PA do Juma, entre os municípios de Novo Aripuanã e Apuí, respectivamente.

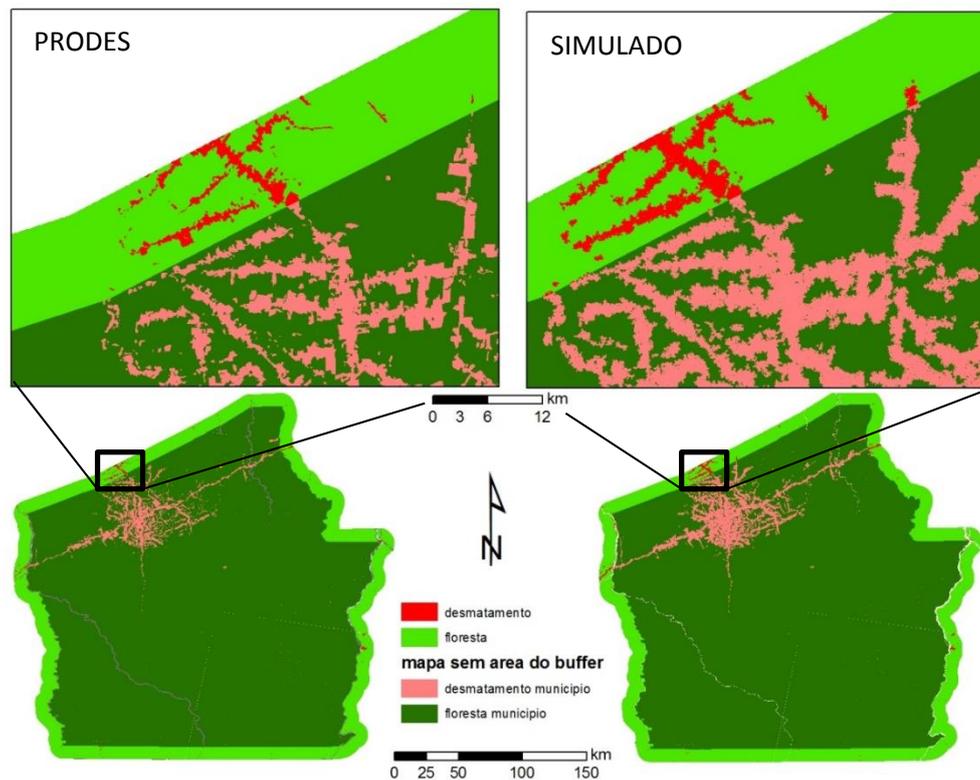


Figura 41: Desmatamento na área do buffer de 5 km^2 da área do município de Apuí, destacando a expansão deste ao final da simulação ao norte do município.

A oeste do município de Apuí (Figura 52), o desmatamento inicial para área do buffer de 5 km^2 de entorno foi de $13,3 \text{ km}^2$ (15%) em relação ao desmatamento inicial total do buffer (89 km^2) do município. Nesta região, o buffer exerceu uma forte influência no desmatamento de APPs com faixa de proteção de 500m, ou seja, em torno de rios com mais de 600m de largura que será descrito adiante no Tópico 7.3. Praticamente todo o desmatamento em APPs de 500m está alocado nesta área, a oeste, onde se estabelece a fronteira entre o município de Novo Aripuanã e Apuí (Figura 53)

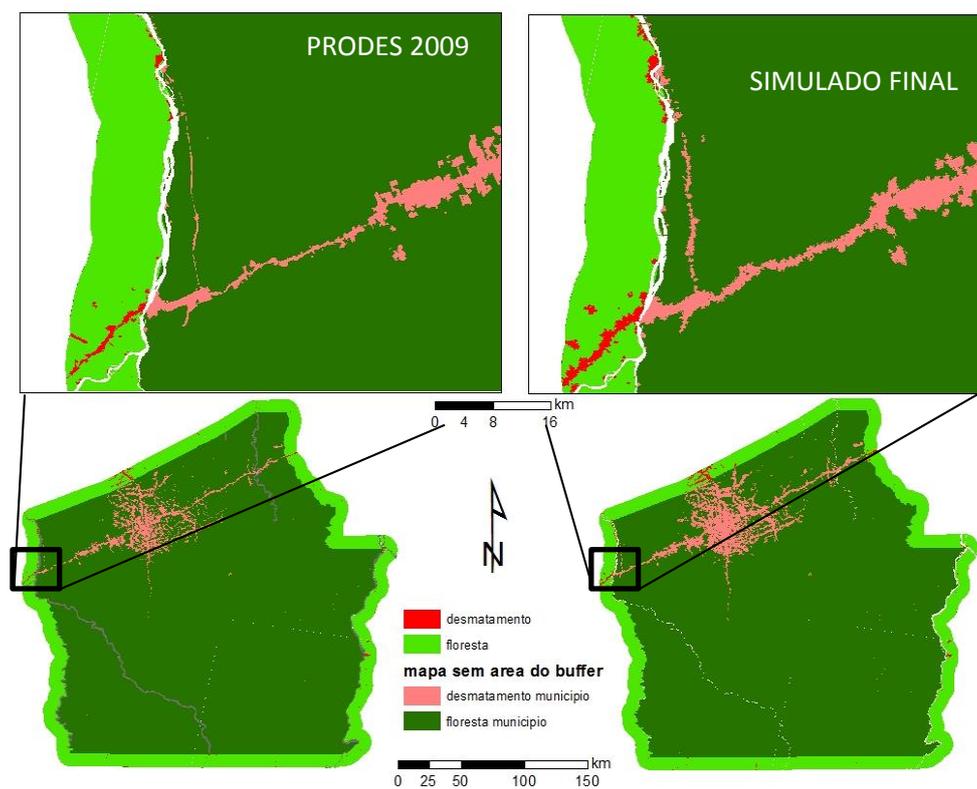


Figura 42: Desmatamento na área do buffer de 5 km² da área do município de Apuí, destacando a expansão deste ao final da simulação a oeste do município.

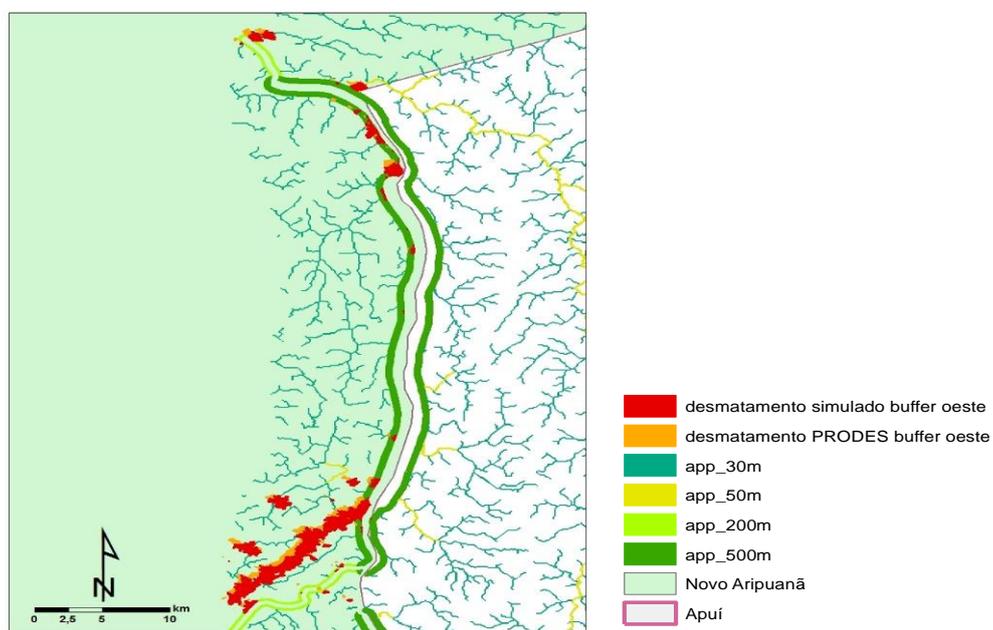


Figura 43: Desmatamento acumulado em áreas de APP para o ano de 2009 (PRODES) e ao final da simulação (2039), considerando o buffer na parte oeste de Apuí.

Para o nordeste município (Figura 54), na fronteira entre os municípios de Apuí e Maués, o desmatamento no buffer representou 14,6% (14 km²) em relação ao desmatamento total acumulado em 2009 no buffer do município e 14,9% (21km²) do desmatamento acumulado em 2039, ao final da simulação.

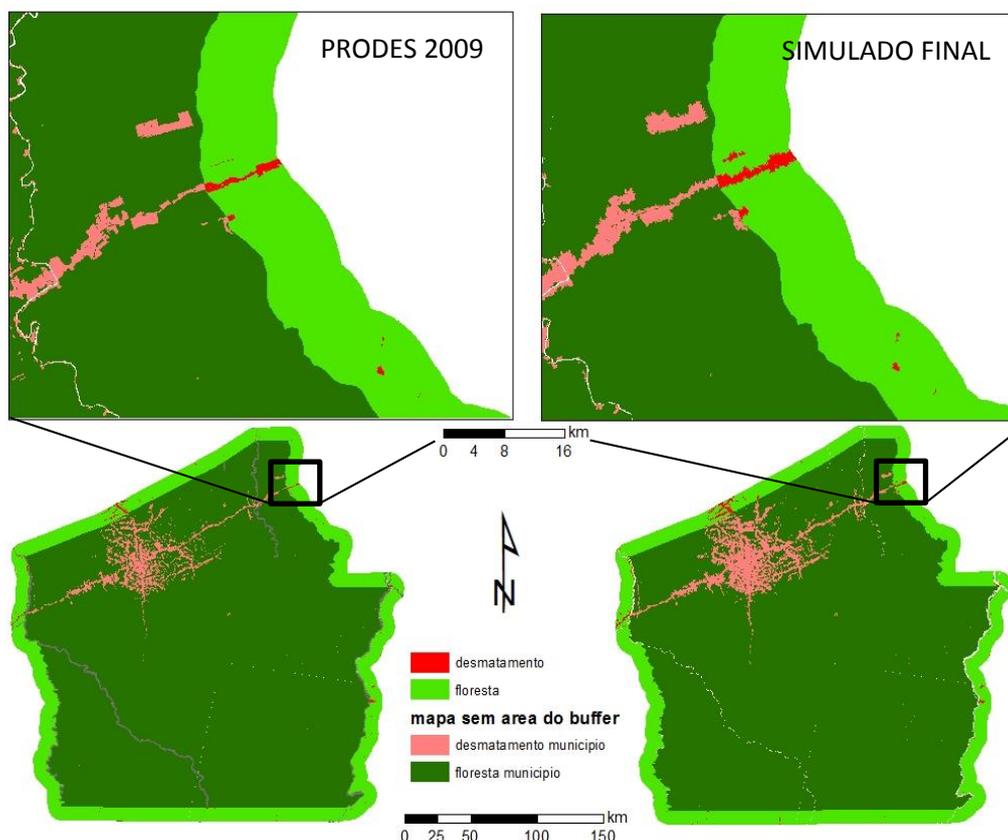


Figura 44: Desmatamento na área do buffer de 5 km² da área do município de Apuí, destacando a expansão deste ao final da simulação na parte nordeste do município.

7.3 CENÁRIO LINHA DE BASE PARA O MUNICÍPIO DE APUÍ COM TENDÊNCIA HISTÓRICA DO DESMATAMENTO (SEM BUFFER)

Neste item somente será considerado os resultados das análises para o município de Apuí sem levar em conta a área de entorno para o cenário de simulação com tendência histórica do desmatamento.

Na Tabela 9 é apresentada a redução percentual da cobertura florestal do município sem o buffer ao final da simulação em relação à cobertura do município de Apuí para o ano inicial de 2009. Como se pode observar em 2009, a cobertura florestal perfazia uma área equivalente a 50957,5 km² (Apuí sem o buffer). Pelo o resultado da simulação nota-se que houve uma redução de 5,1 % de área de floresta (2586,4 km²) em relação à mesma área após 30 anos.

Considerando-se apenas o Município de Apuí as áreas de APP abrangem uma área total de 2960,9 km² (5,6%) do município. Analisando-se o desmatamento para 2009, observa-se que há uma perda de 104,1 km² (3,5%) nas áreas de APP para região, equivalente a 0,19% do desmatamento acumulado para todo o município para este ano (Tabela 10). Após a simulação do desmatamento, ao final de 30 anos, há uma perda de 154,44 km² (5,2%) para as áreas de APP, ou seja, uma área desmatada adicional de 50,3 km². O total de desmatamento acumulado para 2039 equivale a 0,29% de área desmatada para região total do município de Apuí (Tabela 11).

Tabela 9: Área (km²) de floresta total e desmatamento acumulado no mapa inicial (2009) e simulado (2039) na área total de estudo (município e buffer).

Classes temáticas de acordo com o PRODES	Mapa inicial 2009 (km ²)	Mapa final simulado 30 anos (km ²)	Percentual (%) em relação ao mapa inicial (2009)
Floresta	50957,5	50055,6	1,8
Desmatamento acumulado	1690,3	2586,4	53,0

Os resultados encontrados para o desmatamento das APPs, conforme as tabelas 10 e 11 indicam que as áreas de proteção permanente com faixa de distância de 10 metros foram as mais degradadas, tal como na área estudada com o buffer. Apesar de haver uma redução no desmatamento em função da retirada da área adicional do buffer de 5 km², o desmatamento nesta faixa de APP foi equivalente a 76,7 km² (3,5%) de perda da área original no PRODES 2009 e 110,0 km² e no simulado final (5,0%) de perda da área original para a simulação. As APP de 200m permaneceram como a faixa menos desmatada com áreas de perda menores que 1 km² para as duas situações (com e sem buffer).

Tabela 10: Área desmatada acumulada nas APP até 2009 PRODES na área de estudo (Município sem o buffer)

Faixas de largura de APPs (m)	Área original da APP(km ²)	Área desmatada na APP (km ²)	Percentual desmatado	Percentual desmatado por total de APP
30	2195,62	76,70	3,49	2,59
50	459,02	14,52	3,16	0,49
100	70,21	8,02	11,42	0,27
200	87,89	0,69	0,79	0,02
500	148,13	4,22	2,85	0,14
Total	2960,87	104,14	3,52	3,52

É importante observar que para as APP de 500 m, ou seja, em torno dos rios com largura maiores que 600 m de uma margem a outra, ocorreu uma redução significativa no desmatamento quando comparando a área de estudo com e sem o buffer de 5km². Para estas APPs no resultado do cenário **incluindo** o buffer, o desmatamento foi da ordem de 12,6 km² (3,6%) e no simulado o desmatamento foi de 17,0 km² (4,8 %) enquanto que para área do município sem o buffer de 5km², o resultado do cenário de conservação das APP de 500 m foi bem mais otimista apresentando uma área desmatada de somente 4,2 km² (2,85%) para o PRODES 2009 e 6,7 km² (4,5%) para a simulação até 2039. Portanto nota-se que o buffer acrescenta uma área de 8,4 km² para o PRODES 2009 e 10,7 km² ao resultado da simulação.

Tabela 11: Área desmatada em APP no mapa simulado final em 2039

Faixas de largura de APPs (m)	Área original da APP(km ²)	Área desmatada na APP (km ²)	Percentual desmatado	Percentual desmatado por total de APP
30	2195,62	109,97	5,01	3,71
50	459,02	23,12	5,04	0,78
100	70,21	13,75	19,58	0,46
200	87,89	0,87	0,99	0,03
500	148,13	6,73	4,54	0,23
Total	2960,87	154,44	5,22	5,22

Apesar de não ter sido feito uma análise sobre a efetividade das APPs em conter o desmatamento, se estas tivessem sido respeitadas em sua totalidade para área do município de Apuí, seria evitada a perda de 104,1 km² de área de floresta (6,1%) para o PRODES 2009 (1691,4 km²) e 154,4 km² de (5,9%) de área de floresta conservada para o resultado da simulação até 2030 (2586,4 km²).

Comparando-se estes resultados com outros estudos feitos com áreas de APP no Brasil, como os de CAMPOS e MATIAS (2009) no município de Paulina, em São Paulo, observa-se que maior parte das APPs desmatadas na região deste município também estava sobre influência de áreas anteriormente desmatadas para uso de atividade pecuária e 71% das APPs que não eram destinadas ao uso estavam conservadas. Vale ressaltar que dos 71% de área conservada de APPs de Paulina, de acordo com os autores, grande parte era composta de vegetação secundária ou áreas em regeneração, ou seja, já passaram por algum tipo de antropização. Porém, estas áreas, de alguma maneira, cumprem a função ecológica da APP. No entanto, diferem das APPs conservadas de Apuí que corresponde

a 6,7 % da área do município (54082,8 km²) que, em grande parte, é composta de cobertura florestal ainda incólume, principalmente pela presença de APPs dentro do extenso mosaico de unidades de conservação no município.

Em outro estudo realizado por NASCIMENTO et al. (2005) no município de Alegre, Estado do Espírito Santo, foi constatado que a maior parte das APPs da região relacionadas aos cursos d'água estava ocupada por uso da terra, tais como, cultivo de café ou pastagens que correspondiam a 10,2% e 64,4% de áreas desmatadas das APPs deste município. De certa forma, a atividade agropecuária contribuiu para o aumento no desmatamento nas APPs de pequenos cursos d'água (faixa de APP de 30m) nessa região. Resultado semelhante foi encontrado no PA do JUMA, no qual se observou maior desrespeito ao CFB em faixas de APP de 30 m, possivelmente em função da maior concentração de atividade agropecuária no assentamento.

A projeção do cenário “linha de base” para Apuí mostrou que a simulação do desmatamento até 2039 ainda manterá grande parte da cobertura florestal do município. Porém, na do PA do Juma observou-se uma grande redução da cobertura florestal inclusive em áreas de APPs. De acordo com GRAÇA et al. (2007), isso pode ser explicado pelo fato que a maior parte do desmatamento ter sido alocado em áreas que apresentavam grande pressão antrópica, como a área do PA do JUMA, que apresenta um uso intensivo da terra pelo setor agropecuário (CARRERO et al 2010), o que torna essas áreas mais atrativas ao desmatamento.

7.4 CENÁRIO PARA O PROJETO DE ASSENTAMENTO DO JUMA

O fato observado para esta região é que o incremento anual do desmatamento do município segue praticamente a mesma tendência do desmatamento ocorrido no PA (Figura 55). Apesar do PA do Juma concentrar a maior parte do desmatamento de Apuí, a sua área representa apenas 10,7% da área total do município (Figura 56). No restante de Apuí, sem considerar o PA do Juma, encontra-se em sua maior parte coberta por reservas de proteção ambiental que fornecem alguma resistência ao desmatamento. O desmatamento na área externa a PA do Juma está localizado junto às rodovias Transamazônica (BR-230) e AM-17 e em áreas próximas ao PA, caracterizando a influência positiva entre as estradas e o desmatamento, assim como, a grande influência que o PA do Juma exerce em regiões vizinhas

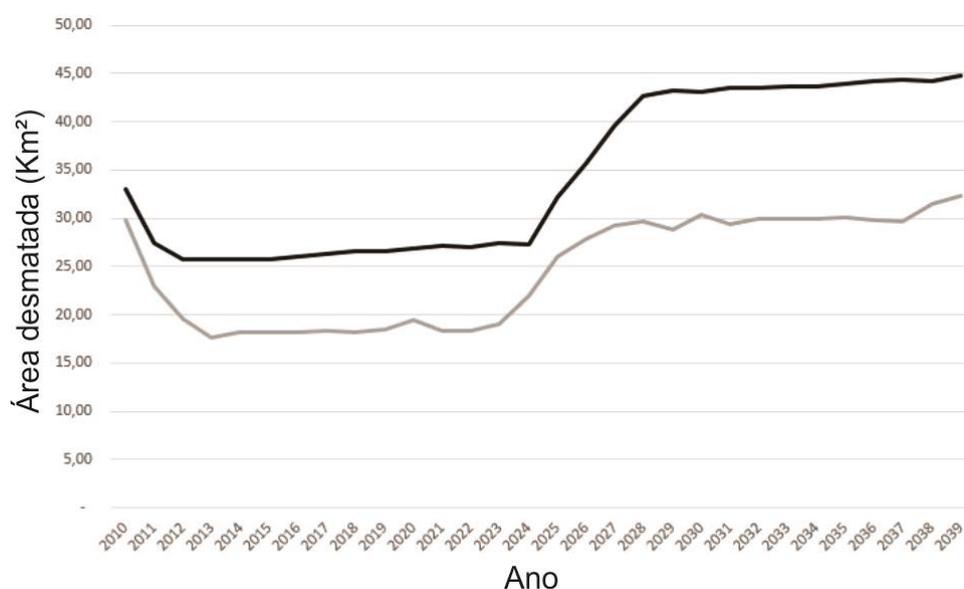


Figura 45: Incremento anual de desmatamento na área do município de Apuí e do PA do JUMA até 2039.

Ao final da simulação observou-se uma redução da cobertura florestal de aproximadamente 32% em relação à cobertura original de floresta (Tabela 12), totalizando uma área de 1852,8 km² no PA do Juma. Isto significa que houve um acréscimo na área desflorestada acumulada até 2009 de 653,3 km², ou seja, um incremento de perda de cobertura florestal de 54,4% em relação a 2009, ao final da simulação.

Tabela 12: Área desmatada no PA do JUMA para o PRODES 2009 e SIMULADO FINAL.

MAPAS	Área total do PA (km ²)	Área total de cobertura florestal original (km ²)	Área total desflorestada (km ²)	Cobertura florestal perdida (%)
PRODES 2009	5834,8	5780,3	1199,5	20,75
SIMULADO FINAL	5834,8	5780,3	1852,8	32,05

De acordo com os resultados da simulação, pode-se observar que o desmatamento na área do PA em 2009 totalizava uma área de 1199,5 km² correspondente a 66% do desmatamento do município (1690,3 km²). Para o resultado final da simulação, o PA apresentou uma área desmatada equivalente 71,6% do desmatamento acumulado no mesmo período para a área total do município de Apuí refletindo a tendência do aumento do desmatamento na região do PA e automaticamente a do município de Apuí.

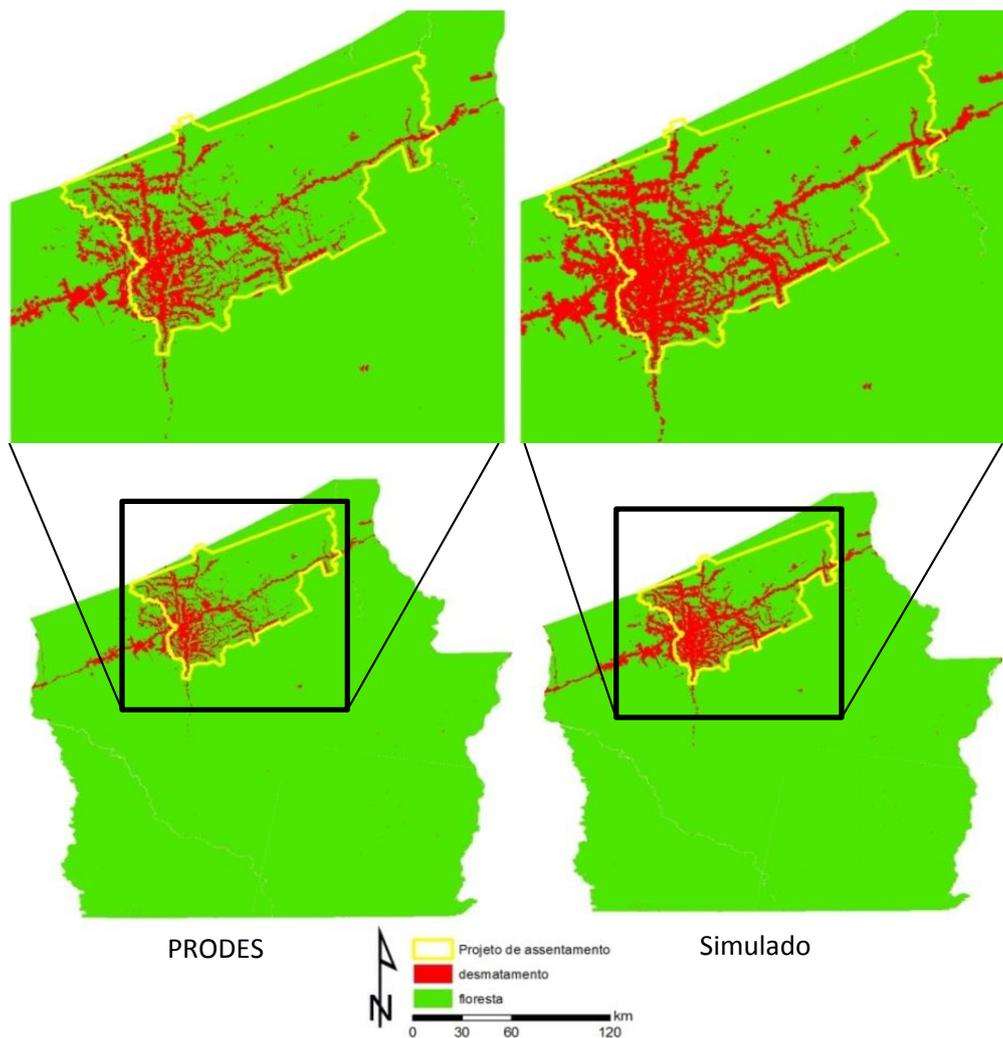


Figura 46: Área desmatada no início (2009) e ao final (2039) da simulação no município de Apuí, destacando-se a área PA do JUMA.

A partir da Tabela 13, pode-se observar que as áreas de proteção permanente no PA do Juma representam apenas 11,2% da área total de APPs do município. Dentre as APPs categorizadas por faixa de largura em relação aos rios, a APP com faixa de 30m da margem do rio (para rios com largura médias menores do que 10m) foi aquela que abrangeu a maior extensão de área (240,9 km²), representando 79% do total da área de APPs no PA do Juma. No entanto, quando esta é comparada com a área total de APPs do município sua contribuição percentual é de apenas 11%

Tabela 13: Área das APPs presentes no PA do Juma comparadas com a área original no município.

Faixa de largura de APPs	Área original (km ²) de Apuí	Área no PA do JUMA(km ²)	Percentual em relação à área original de APP no município
30m	2195,6	241,0	10,9
50m	459,0	37,0	8,1
100m	70,2	26,9	38,2
Total	2724,8	304,9	11,2

Conforme se pode observar na Tabela 14 as APPs de 50 metros perderam uma área de cobertura florestal de 7,5 km² no PA do JUMA até 2009, o que corresponde a 0,2% de área perdida para esta faixa no município, para o mesmo ano. Em relação às APPs de 100m, o desmatamento foi de 6,2 km² (23,0%) de área perdida em relação PA do JUMA, representando, também, 0,2% de área perdida de APP nesta faixa para o município em 2009.

Tabela 14: Área desmatada acumulada nas APP até 2009 PRODES no PA do JUMA

Faixa de largura de APPs	Área original da APP(km ²)	Área desmatada na APP (km ²)	Percentual desmatado
30m	240,9	55,7	23,1
50m	37,0	7,5	20,4
100m	26,9	6,2	23,0
Total	304,8	69,4	22,8

Analisando-se a dinâmica do desmatamento em relação às áreas de proteção permanente relativa às larguras dos rios no PA do Juma, observa-se que 22,8% da sua área total original teve sua cobertura florestal suprimida até 2009. Em relação às APPs de 30 m, é possível notar que estas foram as mais afetadas pela atividade humana no PA do Juma, principalmente, para o uso agropecuário, conforme observado em campo e no banco de dados da Google de imagens de alta resolução acessível pelo QGIS por meio do *Openlayers*.

Porém, este estudo não quantificou as diferentes classes de uso da terra que levam a degradação da floresta. Esta limitação está relacionada ao mapa inicial de cobertura da terra utilizada na simulação que foi derivado da classificação do PRODES, que é limitado, praticamente, a áreas de floresta e desmatamento, sem considerar o tipo de uso da terra. Nesta faixa de proteção (30m) o desmatamento acumulado até 2009 foi da ordem de 55,7

km² (23,1%). Isto representa apenas 2% da área total desta faixa de APPs para o município todo.

Para o resultado simulado em 2030, se pode observar que as áreas de APPs onde o desmatamento teve a maior área desmatada foi a de 30m, seguindo a mesma tendência observada em inicialmente em 2009. De acordo com a Tabela 16, para estas APPs o desmatamento foi da ordem de 79,8 km² (33,1%) de área perdida de cobertura florestal original. Quando comparado ao mapa do PRODES 2009, houve um acúmulo de 24,1 km² (7,8%) de desmatamento para esta faixa de APP. Para as APPs de 50 metros, ou seja, entorno dos rios com larguras entre 10 e 50 metros a área desmatada foi de 12,7 km² (34,3%), equivalente a 11,2% de perda para a área total do PA do JUMA e 1,2% para área de APP para toda região do município de Apuí (Tabela 15).

Tabela 15: Área desmatada acumulada nas APPs para a simulação até 2030 PA do JUMA.

Faixa de largura de APPs	Área original da APP(km ²)	Área desmatada na APP (km ²)	Percentual desmatado
30m	241,0	79,8	33,1
50m	37,0	12,7	34,3
100m	26,9	10,9	40,7
Total	304,9	103,4	33,9

Em relação às APP de 100m, o resultado foi de 10,9 km² (40,7%) de área cobertura florestal suprimida para esta faixa de APP no PA do JUMA. Esta faixa de APP teve um comportamento diferente em relação ao resultado observado para o desmatamento em 2009 do PRODES, onde as APPs de 30m foram as mais desmatadas percentualmente. No entanto, em termos de área absoluta as APPs de 30m, ainda foram aquelas que mais perderam cobertura florestal. Em relação à área total de APPs de 100m do município de Apuí, o desmatamento foi equivalente a 1,2% de área perdida.

Por meio do resultado do desmatamento no PA do JUMA é possível observar que este exerce forte influência no seu entorno como verificado, por exemplo, na Flona do Jatuarana onde o desmatamento tem início na fronteira com o PA. Assim como, ao longo das rodovias presentes no município como AM-174 que adentra a Flona do Jatuarana a partir do projeto de assentamento. GRAÇA et al. (2007) demonstraram que áreas que apresentam ação antrópica constante como por exemplo, o PA do JUMA e proximidades de estradas, podem ser consideradas mais atrativas ao desmatamento, o que corrobora com resultado da presente pesquisa.

Apesar de não ter sido considerada, neste estudo, a relação entre o tipo de uso da terra e o desmatamento nas APPs do município de Apuí, trabalhos como os de CARRERO e FEARNSSIDE (2011), CARRERO (2010) e RAZZERA (2009) demonstram que o desmatamento no município está diretamente ligado à questão da expansão pecuária e atividade madeireira naquela região. Sobretudo, em regiões previamente desmatadas localizadas no projeto de assentamento, corroborando com o resultado encontrado que demonstra que áreas de APP com maior perda de cobertura florestal estão presentes na região do assentamento do JUMA.

CARRERO (2010) afirma em seu estudo que, quanto maior o tempo de ocupação dos lotes na região do PA, maior a variação da proporção de área desmatada. Neste caso a correlação positiva obtida evidenciou o padrão de acúmulo de lotes, sendo esperado que a mudança da cobertura vegetal seja parecida em lotes adjacentes sobre posse da mesma unidade familiar. Desta maneira, resultados encontrados neste estudo para o peso de evidência em relação ao desmatamento próximo às áreas previamente desmatadas demonstraram uma forte relação entre distância de uma nova área desmatada e desmatamento prévio, o que denota a ideia de acúmulo para a região do PA observada por CARRERO (2010).

7.5 CENÁRIO PARA AS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO ESTADUAL E FEDERAL (MOSAICO DE UNIDADE DE CONSERVAÇÃO EM APUÍ)

Nesta seção será mostrado o resultado com relação ao mosaico de unidades de conservação do município de Apuí, composto por oito unidades de conservação estadual que juntas perfazem uma superfície de 21728 km² e duas unidades de conservação federal com uma área que abrange 11987 km² da área do município.

Este mosaico de unidades de conservação totaliza 63,3% da área município (Tabela 16). Contudo será abordado o desmatamento somente na área da Flona do Jatuarana, localizada na porção central do município logo abaixo do PA do JUMA, que é componente das unidades de conservação federal. Isto, porque pelo resultado do cenário simulado foi a única das áreas de proteção do mosaico que apresentou incremento no desmatamento.

Tabela 16: Unidades de conservação componentes do mosaico de UCs do município de Apuí

Unidades de conservação	Área em km ²	Área em relação ao município %
PN do Juruena	6184,8	11,62
FN do Jatuarana	5802,2	10,90
RDS Aripuanã	2135,1	4,01
FE do Sucunduri	4768,0	8,96
FE do Aripuanã	3253,6	6,11
PE Igarapés do Juruena	9,2	0,02
RDS Bararati	1016,5	1,91
FE do Apuí	1790,6	3,36
PE do Sucunduri	7709,9	14,48
REx do Guariba	1045,2	1,96
TOTAL	33715,0	63,33

O desmatamento para a região da FLONA do Jatuarana foi de 13,2 km² (0,2%) para o PRODES 2009. Ao final da simulação observou uma redução da cobertura florestal de aproximadamente 0,4% em relação à cobertura original de floresta, totalizando uma área de 27,2 km². Isto significa que desmatamento na área da FLONA contribuiu pouco em relação ao restante do desmatamento em Apuí. Porém, considerando a evolução do desmatamento na FLONA, houve um aumento de 14 km² (48%) de perda de cobertura florestal em relação a 2009 ao final da simulação (Tabela 17).

Tabela 17: Área desmatada na FLONA Jatuarana para o PRODES 2009 e SIMULADO

	Área total da FLONA (km ²)	Área total de cobertura florestal original (km ²)	Área total desflorestada (km ²)	Cobertura florestal perdida (%)
PRODES 2009	5802,1	5787,3	13,2	0,2
SIMULADO FINAL	5802,1	5773,7	27,2	0,4

Na Figura 57 é possível notar que a dinâmica do desmatamento na Flona do Jatuarana é influenciada pela pressão antrópica procedente do PA do JUMA, principalmente em relação às áreas desmatadas que estão sob influência da estrada AM -174. De acordo com os dados do Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes (DNIT, 1998) a AM-174 termina na fronteira entre o PA e a FLONA. Porém, observa-se que há um prolongamento desta estrada por uma extensão de 34,5 km no interior da FLONA, ou seja, a estrada aberta nesta região funcionou como um vetor de desmatamento.

Este fenômeno é observado tanto no mapa inicial (PRODES 2009) quanto para aquele ao final da simulação. Na simulação, a alocação de células de desmatamento por parte do modelo foi influenciada pela atratividade das estradas e proximidades com áreas previamente desmatadas.

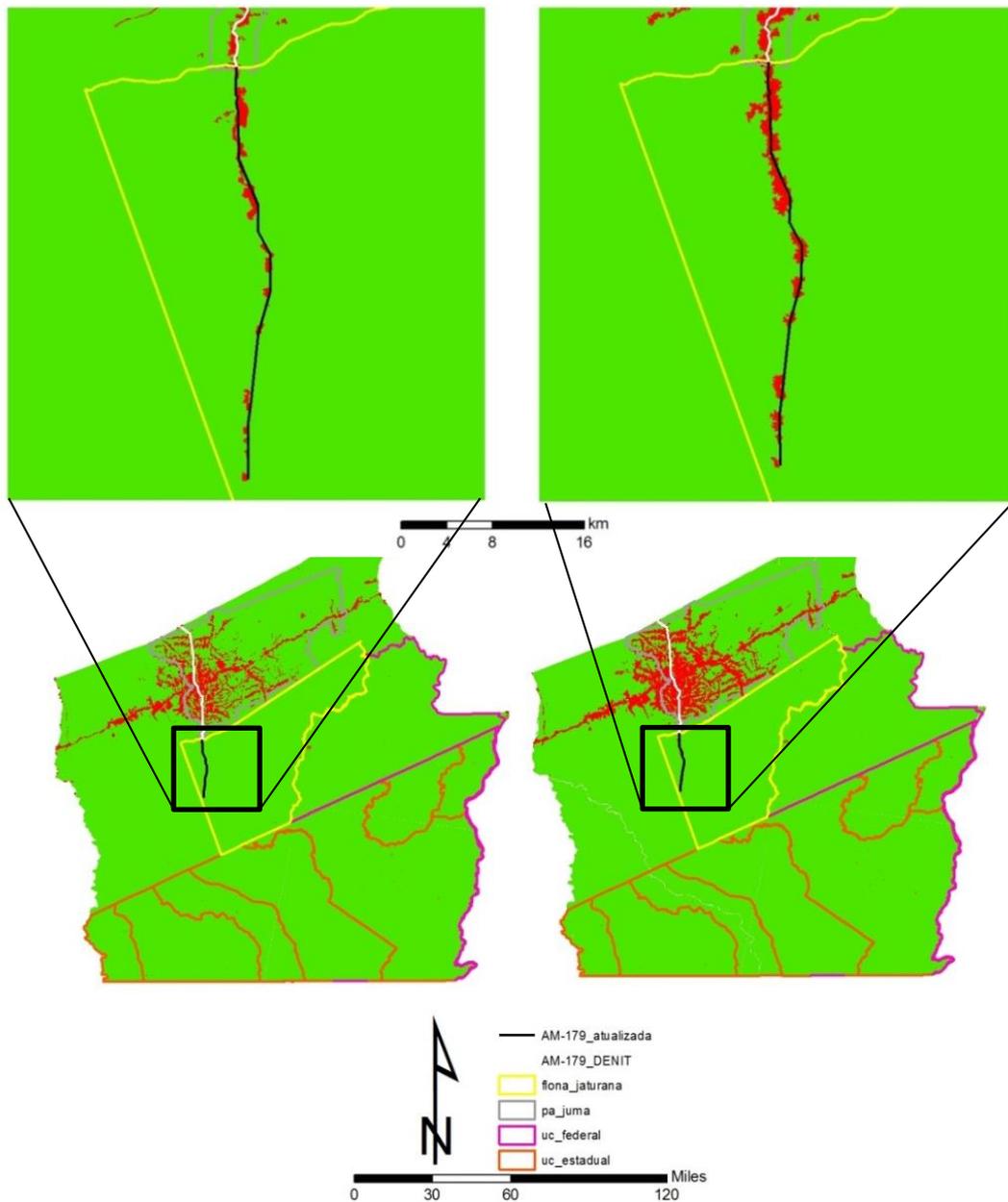


Figura 47: Desmatamento na área da Flona do Jatuarana para o PRODES 2009 e Simulado final (2039).

8. CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos pelo modelo AGROECO adaptado para a simulação desmatamento do município de Apuí, foi possível observar que a região do PA do Juma exerce uma grande influência na dinâmica do desmatamento no município de Apuí. Este fato foi evidenciado pelas altas taxas de desmatamento encontradas para esta região, indicando que a tendência do desmatamento em Apuí, como um todo, acompanha a evolução do desmatamento do PA do Juma.

O método desenvolvido neste estudo possibilitou avaliar o estado de conservação das áreas de APP ao longo de 30 anos. Conseqüentemente, pode-se prever o quanto a cobertura florestal seria mantida em regiões do município, como o PA do JUMA, caso o Código Florestal Brasileiro fosse respeitado em sua integralidade. Neste caso, em particular, levando-se em consideração apenas as APPs das margens dos cursos d'água, sugerindo o quanto estas poderiam ser efetivas em conter o desmatamento futuro.

Este estudo demonstrou que a maior supressão de áreas de APP se concentra em áreas previamente desmatadas, onde há uma maior evidência de ocorrer desmatamento próximo. Desta forma áreas próximas ao PA do Juma foram “contagiadas” pelo processo de ocupação humana neste assentamento.

Verificaram-se ao final da simulação que as APPs mais degradadas foram aquelas que possuíam faixas de proteção de 30m e 50m ao longo dos cursos d'água, possivelmente por serem as que cobrem a maior área do município, em consequência da densidade hídrica observada para os rios de menores ordens. Contudo, quando contabilizada a área total das APPs em relação à totalidade do município, pode-se considerar que grande parte delas encontra-se em bom estado de conservação. Este bom estado de conservação das APPs em Apuí, como um todo, está relacionada à presença do extenso mosaico de unidades de conservação, que perfaz 60% do município, e que funciona como uma barreira ao avanço do desmatamento em Apuí.

No entanto, nota-se que a abertura de novas estradas ou a expansão das estradas já existentes pode ameaçar o estado de conservação ambiental das UCs presentes em Apuí, como é o caso da FLONA do Jatuarana, levando novas frentes de desmatamento para áreas de florestas remotas, mesmo que sob proteção legal.

Apesar do bom estado de conservação das APPs considerando-se a integralidade do município, observou-se um percentual considerável de remoção de cobertura florestal nas

APPs no PA do Juma PA ao e nas suas proximidades, levando a crer o CFB ainda é bastante desrespeitado em áreas com alta pressão antrópica. Este fato é observado no mapa derivado do Prodes em 2009 (22,8%) e no resultado final da simulação (2039) (33,9%), acompanhando a tendência histórica do desmatamento para a região.

Para posteriores estudos sugere-se que seja feita uma avaliação mais detalhada em relação às propriedades estabelecidas no projeto de assentamento, com base na malha fundiária do PA do Juma, para que se obtenha o quanto se perde por propriedade considerando as premissas do código florestal em relação aos módulos fiscais estabelecidos.

O modelo espacial AGROECO e o modelo proposto para delimitação de APP aplicados neste estudo podem ser considerados bons instrumentos para compreender a dinâmica do uso e cobertura da terra e o estado de conservação em APPs em margens de cursos d'água. Porém deve ter em mente que estes modelos são simplificações de sistemas complexos que envolvem características biofísicas diversas, assim como, a sociedade e suas relações como um todo. Logo as representações desta simulação são, obviamente, predições de acontecimentos futuros, baseada em probabilidades, mas que são importantes para tomadores de decisões na aplicação de políticas públicas, principalmente, para aquelas relacionadas à conservação ambiental.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, A.P.D. DE. Modelagem de Mudança do Uso da Terra na Amazônia: Explorando a Heterogeneidade Inter-regional, (Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). São Paulo, SP. 189pp. 2006.
- AHRENS, S. O novo Código Florestal Brasileiro: conceitos jurídicos fundamentais. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 8. 2003, São Paulo. Resumos... São Paulo: Sociedade Brasileira de Engenheiros Florestais, p. 1-15. 2003
- ALENCAR, A.; NEPSTAD, D.; MCGRATH, D.; MOUTINHO, P.; PACHECO, P.; DIAZ, M. D. C. V.; FILHO-SOARES, B. **Indo Além da “Emergência Crônica.”** Belém, Pará, 89pp. 2004.
- BARNI, P. E.; FEARNSIDE, P.M.; GRAÇA, P. M. L. A. Deforestation and carbon emissions in Amazonia: Simulating the impact of connecting Brazil’s state of Roraima to the “arc of deforestation” by reconstructing the BR-319 (Manaus-Porto Velho) Highway. XIII World Forestry Congress, Buenos Aires, Roma, Itália: Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Anais...**p.18 - 23, Buenos Aires, Argentina. 2009.
- BECKER, B. K. **Amazônia**. São Paulo: Ática. 92 p.1990.
- BECKER, B. K. Geopolítica da Amazônia. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 53, p. 71–86, 2005.
- BRASIL. Resolução nº 303, de 20 de março de 2002. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 13 Maio, Seção 1, p. 68. 2008.
- BRIASSOULIS, H. Policy-Oriented Integrated Analysis of Land-Use Change: An Analysis of Data Needs. **Environmental Management**, v. 27, n. 1, p. 1-11, 2001.
- BORGES, L. A. C. Aspectos técnicos e legais que fundamentam o estabelecimento das áreas de preservação permanente (APP). 210 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2008.
- BRASIL, Projeto Radam Brasil. Levantamento de Recursos Naturais. Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral, v. 1–23, Rio de Janeiro, Brasil. 1973–1983
- BURROUGH, P.A. Dynamic modeling and geocomputation. In: LONGLEY, P. A.; BROOKS, S. M.; McDONNELL, R.; MacMILLAN, B. (Ed.). **Geocomputation: a primer**. Chichester: John Wiley, p. 165-192.1998.
- CARRERO, G.C. Dinâmica do Desmatamento e Consolidação de Propriedades Rurais na Fronteira de Expansão Agropecuária no Sudeste do Amazonas. (Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia). 68pp.2009.
- CARVALHO, G.; BARROS, A.C.; MOUTINHO, P.; NEPSTAD, D. Sensitive development could protect Amazonia instead of destroying it. **Nature**, v. 409, n. 6817, p. 131–131, 2001.
- CEUC. **Plano de Gestão do Mosaico de Unidades de Conservação de Apuí** - Volumes I e II. Apuí, Amazonas. 245pp. 2010.
- COELHO, A.D.S. Modelagem de Dinâmica do Uso da Terra e Cobertura Vegetal na Região de Santarém, Oeste do Pará. (Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará). 128pp. 2009.

COELHO, A.L.N. **Modelagem hidrológica da bacia do rio doce (mg/es) com base em imagens SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)**. [S.l.] Universidade Federal de Uberlândia - UFU, 2007.

CHORLEY, J., HAGGET, P. Models, Paradigms and the New Geography. In: _____. **Integrated models in geography**. Londres: Methuen. p. 9-41. 1967.

ELLINGER, P.; BARRETO, P. Código Florestal: Como Sair do Impasse? **Imazon**, p. 1-13, 2011.

EWERS, R.M.; LAURANCE, W.F. Scale-dependent patterns of deforestation in the Brazilian Amazon. **Environmental Conservation**, v. 33, n. 3, p. 203-211, 2006.

FEARNSIDE, P.M. Causes of deforestation in the Brazilian Amazon. p. 37-61 In: R.F. Dickinson (ed.) *The Geophysiology of Amazonia: Vegetation and Climate Interactions*. John Wiley & Sons, New York, E.U.A. 526 p. 1987.

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

FEARNSIDE, P.M. Deforestation in Brazilian Amazonia: History, Rates, and Consequences. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 680-688, 2005.

FEARNSIDE, P.M. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. **Acta Amazonica**, v. 36, n. 3, p. 395-400, 2006.

FEARNSIDE, P.M. Carbon benefits from Amazonian forest reserves: leakage accounting and the value of time. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 14, n. 6, p. 557-567, 2009a.

FEARNSIDE, P.M.; GRAÇA, P.M.L. A.; KEIZER, E.W.H.; BARBOSA, R.I.; NOGUEIRA, E.M. 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, 2009b.

FERREIRA, D.A.C.; CARNEIRO FILHO, A.; EPIPHANIO, J.C.N.; GALVÃO, L.S.; FONSECA, L.M.G. Modelagem do desmatamento no Município de Colniza-MT. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...**p.2565-2572, Florianópolis, Santa Catarina: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2007.

GEIST, H.J.; LAMBIN, E.F. Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation. **Bio Science**, v. 52, n. 2, p. 143, 2002.

GRAÇA, P.M.L.A.; MALDONADO, F.D.; FEARNSIDE, P.M. Detecção de desmatamento em novas áreas de expansão agropecuária no sul do Amazonas utilizando imagens CBERS-2. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis. **Anais...** p. 917-924, São José dos Campos: INPE,. 2007.

IBGE Cidades. Apuí - AM. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística- IBGE.2010 Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 30/6/2010.

IDESAM. Projeto de Redução de Emissões de GEE Provenientes do Desmatamento na Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Juma Amazonas, Brasil. ,2009. Disponível em: <<http://www.fas-amazonas.org/pt/secao/projeto-juma>>.

JACKSON, R.B.; SCHENK, H.J.; JOBBÁGY, E.G.; Belowground Consequences of Vegetation Change and Their Treatment in Models. **Ecological Applications**, v. 10, n. 2, p. 470-483, 2000.

JPL. Jet Propulsion Laboratory Shuttle Radar Topography Mission. 2000. Disponível em <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/mission.htm> da NASA (National Aeronautics and Space Administration). Acesso: julho de 2010.

KOK, K. A method and application of multi-scale validation in spatial land use models. **Agriculture, Ecosystems e Environment**, v. 85, n. 1-3, p. 223-238, 2001.

LAMBIN, E. Are agricultural land-use models able to predict changes in land-use intensity? **Agriculture, Ecosystems e Environment**, v. 82, n. 1-3, p. 321-331, 2000.

LAMBIN, E. F. G., HELMUT J. **Land-use and land-cover change**. Local Processes and Global Impacts. 2006.

LAURANCE, W.F.; COCHRANE, M.A.; BERGEN, S.; FEARNSTIDE, P.M.; DELAMÔNICA, P.; BARBER, C. D'ANGELO, S. FERNANDES, T. The future of the Brazilian Amazon. **Science**, v. 291, n. 5503, p. 438, 2001.

LEAL, P.F. Colonização dirigida na Amazônia: os malabarismos do dirigismo estatal e os parceiros em descompasso com a lei – o caso do Projeto de Assentamento Rio Juma (AM). VIII Congresso Latino americano de Sociologia Rural. **Anais...**p.1-20.Porto de Galinhas, Pernambuco.2010.

LORENA, R.B. Evolução do uso da terra em porção da Amazônia ocidental (Acre), com uso de técnicas de detecção de mudanças, (Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) São José dos Campos, SP. 116pp.2003.

MAZZOTI, F.J.; VINCI, J.J. Validation, verification, and calibration: Using standardized terminology when describing ecological models. University of Florida. IFAS Extension. 2007

MATTHEWS, R.B.; GILBERT, N.G.; ROACH, A.; POLHILL, J.G.; GOTTS, N.M. Agent-based land-use models: a review of applications. **Landscape Ecology**, v. 22, n. 10, p. 1447-1459, 2007.

MOUTINHO, P. Desmatamento na Amazônia: Desafios para Reduzir as Emissões Brasileiras. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável – FBDS. 28pp. 2006. Disponível em: www.fbds.org.br/fbds/IMG/pdf/doc-508.pdf Acesso: 20/12/2010

METZGER, J.P.O Código Florestal tem base científica? **Conservação e Natureza**, v. 8, n. 1, p. 92–99, 2010.

MOUTINHO, P. Desmatamento na Amazônia: desafios para reduzir as emissões de gases de efeito estufa do Brasil. 33pp. 2009. Disponível em: www.fbds.org.br/IMG/pdf/doc-411.pdf. Acesso em: 12/08/2010

MOREIRA, E.G. Dynamic coupling of multiscale land change models: Interactions and feedbacks across regional and local deforestation models in the Brazilian Amazon, **Landscape Ecology**, 2008

NEPSTAD, D.; SCHWARTZMAN, S.; BAMBERGER, B.; et al. Inhibition of Amazon Deforestation and Fire by Parks and Indigenous Lands. **Conservation Biology**, v. 20, n. 1, p. 65-73, 2006.

- NEPSTAD, D.; CARVALHO, G.; CRISTINA B., A. Road paving, fire regime feedbacks, and the future of Amazon forests. **Forest Ecology and Management**, v. 154, n. 3, p. 395-407, 2001.
- OLSON, J.S.; WATTS, J.A.; ALLISON, L.J. **Carbon in live vegetation of major world ecosystems**. Oak Ridge: ORNL/Union Carbide. 164pp.1983.
- NOGUEIRA, E. M.; FEARNSTIDE, P. M.; NELSON, B. W.; BARBOSA, R. I.; KEIZER, E. W. H. Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. **Forest Ecology and Management**, v. 256, n. 11, p. 1853-1867. 2008.
- ONGA, R.N.V. SOUTO, T.O. LEITE, P. ZEILHOFER, L.M. SCHWENK. Modelo numérico de terreno/SRTM na análise para Estimar a largura de rede hidrográfica. III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. **Anais...**p.001-006. Recife – PE. 2010.
- PARKER D.C. BERGER, T.; MANSON, S.M. Agent-Based Models of Land-Use and Land-Cover Change. Proceedings of an International Workshop. **Anais...**p.123Irvine, California. USA. 2001.
- PIMENTA, P.; COELHO, A.; COSTA, S. Land change modeling and institutional factors: heterogeneous rules of territory use in the Brazilian Amazonia. Geoinfo - X Brazilian Symposium on Geoinformatics. **Anais...**p.13, Rio de Janeiro - RJ: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2008.
- PINTO, B.P. Mapeamento das áreas de preservação permanente de cursos d'água e nascentes por meio de um sistema de informações geográficas (SIG). 2008. 55 f. Monografia (Graduação em Gestão Ambiental) – Escola Agrotécnica Federal Inconfidentes, Inconfidentes, 2008.
- PRADO, H. Solos do Brasil: gênese classificação morfologia e levantamento. 2º. Ed. Piracicaba, SP. 220p. 2001
- RAZERA, A. **Dinâmica do desmatamento em uma nova fronteira do sul do Amazonas: análise da pecuária de corte no município do Apuí**, (Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia), Manaus, Amazonas, Brasil. 100p.2005.
- RENNÓ, C.; SOARES, J. Uso do índice topográfico como estimador da profundidade do lençol freático. XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...**v. 11, p.2579 - 2588, Belo Horizonte, Minas Gerais: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.2003.
- ROBINSON, D.T. *et al.* Comparison of Empirical Methods for Building Agent-Based Models in Land Use Science. **Journal of Land Use Science**, v. 2, n.1, p. 31-55, 2007.
- RODRIGUES, H.O.; SOARES-FILHO, B.S.; COSTA, W. L. S. DINAMICA EGO, uma plataforma para modelagem de sistemas ambientais. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...**v. 13, p.3089–3096, 2007.
- RYKIEL, E.J., JR.. Testing ecological models: the meaning of validation. **Ecological Modeling**, 90: 229-244. 1996
- SDS. Síntese dos Relatórios Executivos da Expedição Biológica ao Mosaico de Unidades de Conservação de Apuí, Sudeste Do Amazonas, Brasil. Manaus, Amazonas. 30p. 2006.

SDS. Macrozoneamento econômico-ecológico do Estado do Amazonas. Manaus, AM. p.78. 2008.

SDS. **Relatório de Gestão do Sistema**. Manaus, AM, p. 242. 2011. SOARES-FILHO, B. S. **Modelagem da dinâmica de paisagem de uma região de fronteira de colonização amazônica** (Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo). São Paulo, SP.1998.

SKORUPA, L. A. Áreas de preservação permanente e desenvolvimento sustentável. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2003.

SOARES-FILHO, B.S.; CERQUEIRA, G.C.; PENNACHIN, C.L. Dinamica - a Stochastic Cellular Automata Model Designed to Simulate the Landscape Dynamics in an Amazonian Colonization Frontier. **Ecological Modelling**, v. 154, n. 3, p. 217-235, 2002.

SOARES-FILHO, B.S.; CORRADI, L.; CERQUEIRA, G.; ARAÚJO, W.L. Simulating the spatial patterns of change through the use of the DINAMICA model. XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...** p.721-728, 2003.

SOARES-FILHO, B.S.; ALENCAR, A.; NEPSTAD, D. Simulating the response of land-cover changes to road paving and governance along a major Amazon highway: the Santarem-Cuiaba corridor. **Global Change Biology**. v. 10, n. 5, p. 745-764, 2004.

SOARES-FILHO, B.S.; NEPSTAD, D.C.; CURRAN, L.M.; CERQUEIRA, G.C.; GARCIA, R.A.; RAMOS, C.A.; VOLL, E.; MCDONALD, A.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P Modelling conservation in the Amazonbasin. **Nature**, v. 440, n. 7083, p. 520-3, 2006.

SOARES-FILHO, B.S.; CERQUEIRA, G.C.; ARAÚJO, W. L.; VOLL, E. Modelagem de dinâmica de paisagem: concepção e potencial de aplicação de modelos de simulação baseados em autômato celular. **Megadiversidade**, v. 3, n. 1-2, p. 75-86, 2007.

SOARES-FILHO, B. S.; RODRIGUES, H. O.; COSTA, W. L. Modelagem Ambiental com o Dinamica EGO. Belo Horizonte, MG. Universidade Federal de Minas Gerais; UFMG, 2009.

SOARES-FILHO, B. S.; RODRIGUES, HERMANN O; COSTA, W. L. Modelagem de Dinâmica Ambiental com DINAMICA EGO. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2009. Disponível em: <http://www.csr.ufmg.br/dinamica/>. Acessado em: 18/08/2010

SOARES-FILHO, B.S.; MOUNTINHO, P.; NEPSTAD, D.; ANDERSON, A.; RODRIGUES, H.; GARCIA, R.; DIETZSCH, L.; MERRY F.; BOWMAN, M.; HISSA, L.; SILVESTRINI, R.; MARETTI, C. Role of Brazilian Amazon Protected Areas in Climate Change Mitigation. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2010.

SOUZA JR., C.; BRANDÃO JR., A.; ANDERSON, A.; VERÍSSIMO, A. Avanço das estradas endógenas na Amazônia. O Estado da Amazônia, Instituto do Homem e Meio Ambiente na Amazônia (IMAZON). 2005.

Disponível em: <<http://www.imazon.org.br>>. Acesso em: 30/07/2012.

SPAROVEK, G.; BARRETTO, A.; KLUG, I.; BERNDES, G. Considerações sobre o Código Florestal Brasileiro. **Imaflora**, p. 1-7, 2010.

STEYAERT, L. A Perspective on the State of Environmental Simulation Modeling. In: **Environmental Modelingwith GIS**. Editedby Michael F. Goodchild, Bradley O Parks and Louis T. Steyaert, p. 16-30.1993.

- TORRES, Thais Gisele. **Utilização dos dados SRTM na geração dos limites da bacia hidrográfica do rio Formoso (Bonito, MS)**. Anais 1º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Campo Grande, Brasil, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2006, p.145-154.
- TRENTIN, G.; FREITAS, M. I. C. DE. Autômato celular na simulação de cenários para o município de Americana-SP. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 62, p. 291-305, 2010.
- TURNER, B.L. II; MEYER, B.L. Global Land Use and Land Cover Change: An Overview. *In: Meyer, W.B.; Turner, B.L. II (Eds). Changes in Land Use and Land Cover: A Global Perspective*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. p. 3-10.1994.
- VELDKAMP, A.; FRESCO, L. O. CLUE: a conceptual model to study the Conversion of Land Use and its Effects. **Ecological Modelling**, v. 85, n. 2-3, p. 253-270, 1996.
- VELDKAMP, A.; VERBURG, P.; KOK, K.; et al. The need for scale sensitive approaches in spatially explicit land use change modeling. **Environmental modeling and assessment**, v. 6, n. 2, p. 111-121, 2001.
- Ventana.VENSIM 5.1 a from Ventana Systems INC. Disponível em: <<http://www.VENSIM.com/download.html>>. .
- VERBURG, P. H. Simulating feedbacks in land use and land cover change models. **Landscape Ecology**, v. 21, n. 8, p. 1171-1183, 2006.
- VERBURG, P. H.; SOEPBOER, W.; VELDKAMP, A.; et al. Modeling the spatial dynamics of regional land use: the CLUE-S model. **Environmental management**, v. 30, n. 3, p. 391-405, 2002.
- VITEL, C.S.M.N.; FEARNESIDE, P.M.; GRAÇA, P.M.L.A. Análise da inibição do desmatamento pelas áreas protegidas na parte sudoeste do Arco de desmatamento. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...** p.6377-6384, Natal, Recife. 2009a.
- VITEL, S.M.N. **Modelagem da dinâmica do desmatamento de uma fronteira em expansão, Lábrea, Amazona**. (Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia). Manaus, AM. 121p.2009b.
- YANAI, A.M.; FEARNESIDE, P.M.; GRAÇA, P.M.L.A; NOGUEIRA, E.M. Avoided deforestation in Brazilian Amazonia: Simulating the effect of the Juma Sustainable Development Reserve. **Forest Ecology and Management**, v. 282, p.78-91, 2012.
- YANAI, A.M. **Desmatamento no sul do Amazonas: Simulação do efeito da criação da Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Juma**, (Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Amazônia). Manaus, AM.127p. 2010.
- YANAI, A.M.; FEARNESIDE, P.M.; GRAÇA, P.M.L.A. Desmatamento no sul do Amazonas: Simulação do efeito da criação da Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Juma. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...**p.6193-6200, Curitiba, PR: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.2011.