

The text that follows is a PROVA

O texto que segue é um PROOF.

Please cite as:

Favor citar como:

**Barni, P.E.; Fearnside, P.M. & Graça,
P.M.L.A. 2018. Simulando
desmatamento e perda de carbono na
Amazônia: Impactos no Estado de
Roraima devido à reconstrução da BR-
319 (Manaus-Porto Velho). In: Oliveira,
S.K.S. & Falcão, M.T. (Eds.). *Roraima:
Biodiversidade e Diversidades*. Editora
da Universidade Estadual de Roraima
(UERR), Boa Vista, Roraima. p. 154-
173. (no prelo)**

ISBN: 978.85-61924-18-8.

Copyright: Editora da UERR

SIMULANDO DESMATAMENTO E PERDA DE CARBONO NA AMAZÔNIA: IMPACTOS NO ESTADO DE RORAIMA DEVIDO À RECONSTRUÇÃO DA BR-319 (MANAUS-PORTO VELHO)

Paulo Eduardo Barni

Professor Dr. da Universidade Estadual de Roraima e
Pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia,

paulinpa2007@gmail.com

Philip Martin Fearnside

Pesquisador Dr. do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia,
pmfearn@inpa.gov.br

Paulo Maurício Lima de Alencastro Graça

Pesquisador Dr. do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia,
pmlag@inpa.gov.br

RESUMO

O desmatamento na Amazônia leva à emissão de gases de efeito estufa e à perda da biodiversidade e dos serviços ambientais da floresta. Foram simulados quatro cenários futuros de desmatamento e de emissões estimadas de carbono de 2008 a 2030 na região Sul de Roraima. Dois dos cenários consideraram a hipótese da reconstrução da BR-319 (Manaus–AM/Porto Velho–RO), possibilitando a chegada de imigrantes para a região e causando desmatamento.

ABSTRACT

Deforestation in the Amazon leads to emission of greenhouse gases and to loss of biodiversity and forest environmental services. Four future scenarios of deforestation and estimation of carbon emissions from 2008 to 2030 in the southern region of Roraima were simulated. Two of the scenarios considered the reconstruction of highway BR-319 (Manaus-AM / Porto Velho-RO), allowing the arrival of immigrants to the region and causing deforestation.

1. INTRODUÇÃO

O desmatamento é a forma mais drástica e definitiva de mudança de uso da terra na Amazônia e a mais danosa ao meio ambiente e à biodiversidade. Por exemplo, a Extração seletiva de madeira (ESM), se conduzida dentro dos preceitos aceitáveis de manejo florestal, não reduz a biodiversidade significativamente e pode trazer benefícios à floresta e às comunidades humanas. Por outro lado se a ESM for conduzida de forma desordenada e predatória poderá causar danos

irreversíveis a floresta em termos de extinção local de várias espécies madeiráveis, levando, ocasionalmente, à perda de importantes serviços ambientais prestados pela floresta além de deixá-la vulnerável à incidência de incêndios florestais. Em florestas ecotonais e, mais recentemente em florestas densas, a ocorrência de incêndios florestais de sub-bosque e a sua reincidência podem danificar e mudar a estrutura da floresta e o seu conteúdo de biomassa (MARTINS et al., 2012; XAUD et al., 2013). Embora esses fenômenos sejam causados pela ação e intervenção humana na floresta, não chegam a danificá-la o suficiente para impedir que, em poucos anos e por causa da sua resiliência natural, ela se recupere e volte a ser produtiva novamente.

No entanto, o desmatamento é uma ação sem retorno para os serviços ambientais (FEARNSIDE, 2008a) e para a biodiversidade da flora e da fauna locais, porque é necessário que a floresta esteja de pé para cumprir plenamente o seu papel. Mesmo que sessem todas as ações humanas sobre a área desmatada e a deixássemos a cargo da regeneração natural, seriam necessários centenas de anos até que surgisse no local outra floresta, com características semelhantes à original.

Por isso, o desmatamento na Amazônia não é assunto trivial e assume um papel de altíssima relevância. O seu estudo requer abordagens muitas vezes originais e inusitadas como, por exemplo, o uso de cenários futuros. Essa abordagem é possível graças ao grande avanço observado atualmente nas áreas da informática e, conseqüentemente, no uso e desenvolvimento de ferramentas e técnicas de Sensoriamento Remoto (SR), geoprocessamento e de Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

Na criação de cenários futuros, são usados modelos de simulação executados em *softwares* especialmente desenvolvidos para esse fim. Os cenários futuros prestariam para um melhor entendimento dos padrões subjacentes aos processos dinâmicos relacionados ao desmatamento, por exemplo. A simulação de desmatamento pode ser vista como um instrumento de aquisição de conhecimento a partir da integração e aplicação da informação (obtida por mapas de SR e SIG) sobre sistemas dinâmicos como é a paisagem amazônica no advento recente das grandes migrações humanas para a região.

Este capítulo apresenta a simulação de quatro (4) cenários futuros de desmatamento e apresenta estimativas de emissões de carbono para a atmosfera resultante destes cenários. As simulações foram executados de 2008 a 2030, considerando uma área de aproximadamente 100 mil quilômetros quadrados referentes à região Sul do Estado de Roraima (Figura 1). Os cenários foram construídos a partir da hipótese da reconstrução e asfaltamento da BR-319 (Manaus – AM a Porto Velho – RO) possibilitando a chegada de um maior número de imigrantes vindos, principalmente, do “arco do desmatamento” para a região e aumentando o desmatamento e a degradação florestal de forma rápida e desordenada.

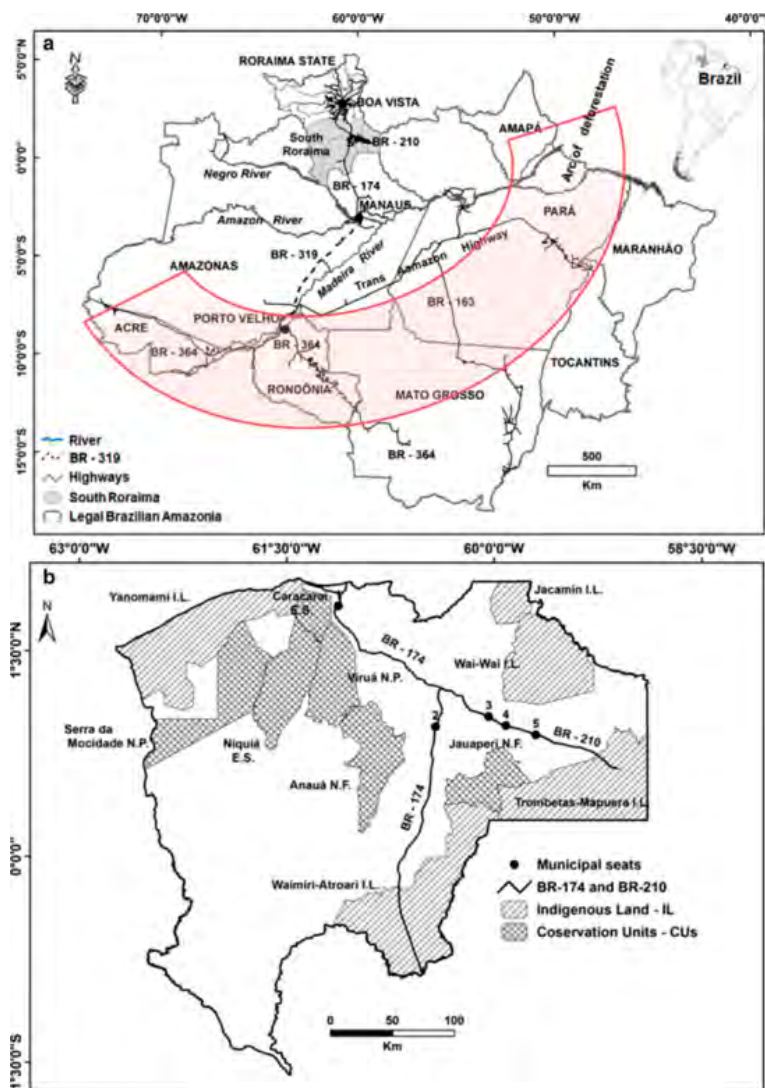


Figura 1. Em (a) Amazônia Legal brasileira destacando o “arco do desmatamento” (faixa em cor rosa) e em (b) a região sul de Roraima. E.S. =Estação Ecológica, I.L.= Terras Indígenas, N.F.= Floresta Nacional. N.P.= Parque Nacional e BR indica rodovias federais. Sedes municipais: 1 Caracará, 2 Rorainópolis, 3 São Luiz, 4 São João da Baliza e 5 Caroebe.

Premissas para os cenários simulados

Foram simulados quatro cenários de desmatamento e emissões de carbono entre 2007 e 2030 para o Sul do Estado de Roraima. Dois deles presumiram a reconstrução e asfaltamento da BR-319 em 2011: um cenário Business As Usual2 - BAU2 (negócios como sempre) e CONSERV2, (cenário de conservação). Os outros dois cenários, um Business As Usual1 – BAU1 (negócios como sempre) e o outro de conservação (CONSERV1) presumiram a não reconstrução da BR-319. Os cenários foram construídos a partir de algumas premissas (ou suposições). Premissas são imposições ao modelo, baseadas em algumas condições pré-definidas, para se obter respostas e ajudar na interpretação dos cenários gerados posteriormente durante as simulações (Tabela 1). Essas premissas foram elaboradas através da literatura e baseadas no contexto histórico de ocupação da área de estudo. Tanto o cenário BAU2 como o CONSERV2, ambos presumindo o asfaltamento da BR-319, sofrem um aumento em suas taxas de desmatamento a partir de 2012 em função da aplicação pelo modelo de um Fator de Migração (FM). Esse fator, derivado da área de estudo, foi igual a três (3).

Tabela 1. Condições para os quatro modelos de simulação do Sul do Estado de Roraima.

CENÁRIO	BR-319	Estradas plane­jadas	Reservas (UCs)	Fator de migração	*TBA	**TEP
BAU1	Não	Sim	Não	Não	Sim	Sim
CONSERV1	Não	Não	Sim	Não	Sim	Não
BAU2	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Sim
CONSERV2	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Não

*Taxa Básica Anual

**Taxa de estradas plane­jadas

Dados espaciais de entrada

Para o funcionamento e calibração do modelo de simulação é necessário uma serie de variáveis (mapas) de entrada. Esses mapas representam as condições da paisagem inicial da área estudada. Como, por exemplo, mapas de uso da terra (de 2004 e 2007) fornecidos pelo PRODES (BRASIL, INPE, 2018), usados para os cálculos da taxa de transição e dos pesos de evidência, mapas de altitude e declividade, de solos e vegetação. Também de Unidades de Conservação (UC) e Terras Indígenas (TI). O modelo também incorpora mapas de distâncias das estradas, dos rios, dos Projetos de Assentamento (PAs) que, juntamente com os mapas de uso da terra (desmatamento), mapas de fricção e de custo (Ver BARNI et al., 2015), servem para calcular a probabilidade (pesos de evidência) de mudança de uso da terra em determinado lugar e ano da simulação.

Cálculo dos Pesos de Evidência

O DINAMICA-EGO trabalha com o conceito de pesos de evidência na execução do modelo preditivo de desmatamento. Os pesos de evidência são originados do método Bayesiano de probabilidade condicional. Na modelagem da dinâmica de mudanças de uso e cobertura da terra, especificamente, eles são aplicados para calcular probabilidades, a posteriori, da ocorrência de desmatamento, sabendo-se, a priori, de locais e condições favoráveis de ocorrência do desmatamento. Nesse passo da modelagem os mapas de uso da terra, as variáveis estáticas e dinâmicas foram combinadas num sub-modelo do DINAMICA-EGO para extração dos pesos de evidência. A influência dos pesos de evidência sobre as variáveis pode ser positiva (favorece o desmatamento) ou negativa (inibe o desmatamento). Os pesos de evidência são recalculados a cada iteração do modelo considerando a superfície total de floresta disponível em uma dada iteração. Na simulação os pesos de evidência representam a “quantidade” de influência de cada variável na probabilidade espacial de transição de uma célula, em um determinado estado (i), mudar para outro estado (j) em função da sua localização dentro de uma dada faixa de distância. Dessa forma, a maior probabilidade de mudança de estado terá aquela célula cuja localização está na faixa mais próxima da classe de interesse. Por exemplo, células representando floresta (3) próximas a áreas com células representando desmatamento (1) tem maior probabilidade de serem convertidas ou sofrer transição para desmatamento ($3 \rightarrow 1$) do que aquelas posicionadas mais distantes da borda da floresta no ano seguinte da simulação.

Calendário de estradas

Neste trabalho e para todos os cenários, as estradas principais planejadas para o futuro obedeceram ao cronograma oficial do governo de Roraima para a pavimentação de estradas. As estradas secundárias de maior comprimento foram mapeadas usando o método MCE (*Multiple Criteria Evaluation*), implementado no software DINAMICA-EGO através do módulo “construtor de estradas”. Foram constatadas em campo atividades de grilagem e demarcação de terras públicas no final de algumas estradas vicinais com carregadores construídos por madeireiros. Assim, no cenário BAU1 (sem a BR-319) e no BAU2 (com a BR-319), presumimos que estradas serão construídas futuramente para facilitar o acesso a essas áreas de invasões, induzindo desmatamentos futuros. As datas prováveis de construção das estradas secundárias foram estimadas baseando-se nas entrevistas de campo e na consulta à literatura (Tabela 2).

Tabela 2. Calendário de asfaltamento e construção de estradas projetadas para o futuro aplicado ao modelo AGROECO para todos os cenários (exceto alguns destinos nos cenários de conservação).

Ano	Nome	Comprimento (km)	*Área (ha)	Localidade (município)
2008	BR-174 e BR-210	526	-	Todos
2009	Trecho BR-210	63	75.600	São João / Caroebe
2011	Estradas vicinais	140	168.000	Rorainópolis
2012	RR-170 e BR-422	136	163.200	Caracarái / Rorainópolis
2013	Estradas do rio Engano	264	316.800	Caracarái
2014	Estradas Lago Jatapú	73	87.600	Caroebe
2015	Continuação da vicinal 07	65	78.000	Caroebe
	Estrada para Sta. Maria do			
2018	Boiaçú	126	151.200	Rorainópolis
Total		867	1.040.400	-

*Área disponibilizada pela estrada para desmatamento

Validação do modelo de simulação

O modelo foi validado através de rodadas de simulação entre os anos de 2004 a 2007 usando o mapa de uso da terra de 2004 como mapa de entrada e os parâmetros da calibração para o cenário BAU1 (sem a BR-319), do Sul do Estado de Roraima (Figura 3). O mapa gerado foi comparado ao mapa de uso da terra de 2007 fornecido pelo PRODES (BRASIL, INPE, 2018). É importante destacar que nesta abordagem se compararam mapas de diferenças, ou seja, mapas de desmatamento simulado, e não de desmatamento acumulado (B.S. SOARES-FILHO. comunicação pessoal).

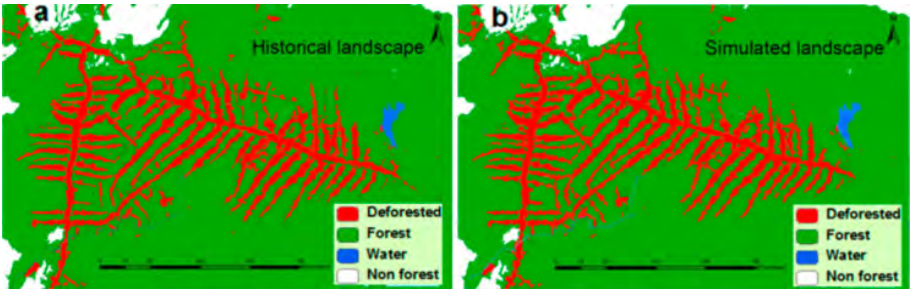


Figura 3. Detalhe ampliado (1:700.000) da área de estudo (a) comparando o desmatamento observado em 2007 pelo PRODES (BRASIL, INPE, 2018), com o desmatamento simulado pelo modelo (b).

Criação das UCs para os cenários de Conservação

As UCs propostas para os cenários de Conservação somaram uma área de aproximadamente 695.000 ha. A forma e a localização foram planejadas para permitir a conectividade com outras UCs já implantadas na região, formando um imenso corredor desde o sul e sudeste, e chegando ao nordeste, da região Sul de Roraima (FERREIRA & VENTICINQUE, 2007). As florestas que ocupam grande parte da região sul de Roraima são ombrófilas densas, ou seja, de dossel fechado (e.g., BARNI et al., 2016).

Estimativa de biomassa florestal

Na estimativa de biomassa florestal abaixo e acima do solo (excluindo o carbono do solo), foi utilizado o mapa de densidade média de biomassa calculada para o Estado de Roraima. Esse mapa foi derivado do mapa de biomassa para a Amazônia, desenvolvido por Nogueira et al. (2008). Para o atual trabalho, considerou-se biomassa florestal somente aquela proveniente de formações florestais primárias, que não tiveram histórico de corte raso prévio (e.g., BARNI et al., 2016).

Estimativa de biomassa da vegetação secundária simulada e outros tipos de vegetação da paisagem em equilíbrio

No modelo AGROECO, adaptado para este estudo, considerou-se que a vegetação secundária espacializada na simulação, para cada iteração, foi originada de áreas desmatadas para fins de pecuária. Para estimar a biomassa de vegetação secundária simulada anualmente e as remanescentes nos cenários de 2030, mapas binários com pixels da classe de vegetação secundária gerados a cada iteração foram submetidos a operações de álgebra de mapas. Esse procedimento visou determinar a composição das paisagens geradas anualmente pelo modelo de simulação relativo à idade da vegetação secundária proveniente de pastagens abandonadas em determinada paisagem. Ou seja, determinar quanto da vegetação secundária criada na paisagem no tempo t_0 permanece em uma paisagem criada no tempo t_1 . As operações consistiram de cruzamentos sistemáticos entre os mapas gerados ao longo das simulações e que foram recuperados a cada iteração pelo DINAMICA-EGO, de 2008 a 2030.

Estimativa de emissões de carbono para a atmosfera

A biomassa florestal foi convertida em carbono utilizando o fator de conversão de 0,485 (SILVA, 2007). Considerou-se o conteúdo de carbono da vegetação secundária simulada, de pastagens e de agricultura formando a paisagem em equilíbrio, o carbono sendo 45% do peso seco estimado para a sua biomassa (FEARNSIDE, 1996). As estimativas de emissões de cada cenário intermediário, simulado anualmente até 2030, foram calculadas a partir da perda do estoque de carbono

existente nas florestas remanescentes em 2007 até cada ano intermediário específico. A cada ano simulado descontou-se o carbono da paisagem em equilíbrio juntamente com o carbono da vegetação secundária simulada (FEARNSIDE et al., 2009).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Validação do modelo

A validação do modelo é importante para saber se ele é capaz de capturar informações essenciais do mundo real e determinar o grau de realismo atribuídos aos resultados da simulação dos cenários. Nosso modelo foi validado após rodadas de simulação comparando-se o mapa simulado da paisagem do sul do Estado em 2007 com o mapa de desmatamento do PRODES (BRASIL, INPE 2018) obtendo-se um índice de 54,7% de similaridade entre os mapas. Para esse propósito um índice acima de 50% de similaridade é considerado suficiente para validação, uma vez que não há uma regra geral para a calibração de modelos de simulação (MAZZOTI & VINCI, 2007).

Biomassa e carbono sequestrados pela vegetação secundária simulada

O percentual médio de 15,1% (da área total desmatada) de vegetação secundária derivada das pastagens degradadas e simulada nos quatro cenários foi semelhante ao percentual (13%) encontrado por Ferraz et al. (2005) simulando cenários futuros em Rondonia. Em uma estimativa realizada por cadeia de Markov, considerando a Amazônia como um todo, foi utilizado um índice de ocupação de vegetação secundária de 32% do total da área desmatada (RAMANKUTTY et al., 2007). Estudos recentes baseados em técnicas de sensoriamento remoto para análise de imagens de satélites indicam um percentual de 19 a 36% da área desmatada na Amazônia brasileira sendo ocupada por vegetação secundária (NEEFF et al., 2006; ALMEIDA et al., 2010; CARREIRAS et al., 2014).

Desmatamento acumulado sob os quatro cenários simulados

A Figura 4 mostra a evolução do desmatamento acumulado em cada cenário simulado. As curvas representando os cenários BAU1 e CONSERV1, sem a presunção da BR-319 apresentam evolução do desmatamento de forma linear e constante no tempo, semelhante ao observado atualmente em Roraima e no sul do Estado (e.g., BARBOSA et al., 2008; BARNI et al., 2012, 2015). Também é possível verificar um forte crescimento do desmatamento sob os cenários BAU2 e CONSERV2, devido à aplicação do fator de migração pelo modelo iniciando em 2013 e às taxas se estabilizado em 2020. O cenário BAU1 (considerado de linha de base para a simulação) projetou a evolução histórica do desmatamento na região. A construção de estradas principais planejadas para o futuro e de estradas endógenas ou secundárias (construída por madeireiros e automatizadas no mo-

delo) quase que dobraram a área desmatada inicialmente em 2007 (372.250 ha), alcançando uma área de 715.250 ha em 2030 e apresentando aumento de 92% no período analisado. O cenário BAU2 (com a BR-319) mostra uma possível trajetória, no tempo e no espaço, de que estradas são precondições favoráveis ao desmatamento. Estas precondições combinadas com um provável fluxo migratório para Roraima provocado pela reabertura da BR-319 em 2011 são simulados pelo modelo aplicando taxas de desmatamento similares àquelas observadas no passado recente em Roraima. Essas taxas foram aplicadas sobre um curto espaço de tempo (2013 – 2018) acompanhando o calendário de estradas programadas para serem construídas no futuro. Neste cenário a reconstrução e abertura da BR-319 ocorre em 2011 e acumula uma área desmatada de 486.000 ha até em 2030, ou seja, um acréscimo de 130,4% sobre a área inicial em 2007 (Tabela 3). Nos cenários CONSERV1 e CONSERV2 (com e sem a BR-319) um aumento no desmatamento ocorreu a partir da rede de estradas pré-existentes localizadas nos Projetos de Assentamento (Figura 5c, d). Isto indica que poderá haver uma intensificação do uso da terra nestes locais devido às restrições ao desmatamento impostas pelo modelo simulando um cenário de conservação com a implementação de unidades de conservação. CONSERV1 foi o cenário com menos desmatamento no período da análise, com a área desmatada chegando a 654.513 ha em 2030, ou um aumento de área de 75,6% sobre o cenário inicial em 2007. No cenário CONSERV2 (com a reabertura da BR-319), a área acumulada desmatada chegou a 775.888 ha em 2030, registrando aumento de 108,2% sobre a paisagem inicial em 2007. Apesar de ser um cenário de conservação, o cenário CONSERV2, desmatou 17,7% a mais que o cenário BAU1.

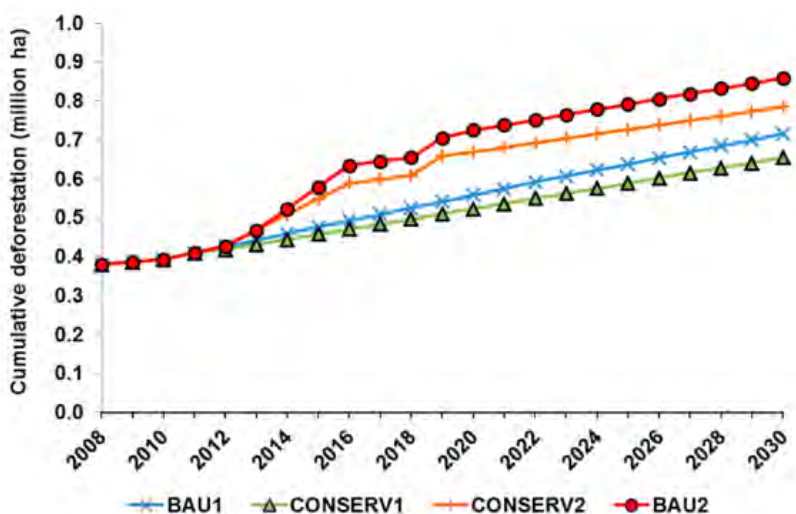


Figura 4. Desmatamento acumulado (em milhões de ha) sob os quatro cenários simulados de 2007 a 2030 no sul do Estado de Roraima.

Efeito das estradas planejadas sobre o padrão de desmatamento nos cenários

Embora ambos os cenários de “negócios como sempre” (BAU1 e BAU2), usem o mesmo calendário para implementação das estradas planejadas para o futuro, no cenário BAU2 (presumindo a BR-319) foi utilizado o fator de migração para simular um aumento mais vigoroso do desmatamento depois de 2012. Assim, a forma e a distribuição espacial do desmatamento nos dois cenários foram similares, diferenciando-se apenas na intensidade (quantidade de área) de ocorrência do desmatamento. O cenário BAU2 desmatou 38,4% a mais do que o BAU1 e o CONSERV2 desmatou 32,8% a mais do que o CONSERV1. O fato de que o CONSERV2 (com a BR-319) desmatou 17,7% a mais do que o cenário BAU1 não significa que criar reservas é ineficiente para frear o desmatamento na Amazônia. Ao contrário, reflete a severidade do efeito de abrir uma estrada como a BR-319 em termos de desmatamento futuro em uma região com baixa governança, como é o caso da região sul de Roraima (e.g., BARNI et al., 2012, 2017). Em geral, as estradas planejadas aceleraram o desmatamento simulado nos dois cenários BAU, como tem sido observado na Amazônia quando se constrói estradas (ESCADA & ALVES, 2001; NEPSTAD et al., 2001; SOARES-FILHO et al., 2004, 2006). Estradas planejadas chegando a blocos de florestas primárias ao norte da hidrelétrica de Jatapú (anos 2014 e 2015) em florestas próximo ao rio Branco, no PA Caxias, no município de Caracarái (anos 2012 e 2015) aumentaram o desmatamento nesses locais. O mesmo efeito foi também verificado na margem esquerda (sentido Boa Vista - Manaus) da rodovia BR-174 (2011) no PA Equador (Figura 5a, b).

O efeito oposto, ou falha no acompanhamento do desmatamento com a abertura de estradas foi observado ao longo de algumas estradas. Isso ocorreu no cenário BAU1 (sem a BR-319) ao longo da estrada planejada que penetraria no bloco da floresta ao oeste da terra indígena Wai-Wai (2013), bem como no município de Caracarái e a oeste do PAD Anauá (2013). Este efeito também ocorreu em ambos os cenários na estrada que liga o rio Jauaperi a Santa Maria do Boiaçu (2018), no município de Rorainópolis.

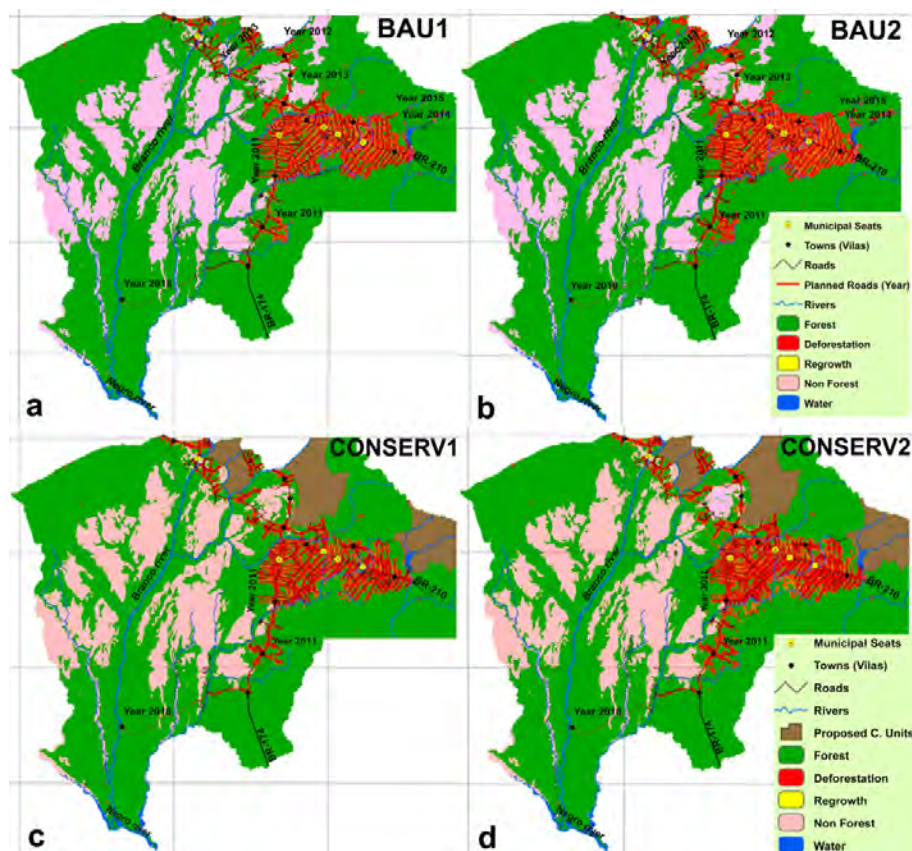


Figura 5. Cenários de desmatamento simulado de 2007 a 2030 no sul do Estado de Roraima: (a) cenário de linha de base (BAU1); (b) cenário BAU2; (c) cenário CONSERV 1 e (d) CONSERV2. Nos dois cenários BAU as estradas planejadas são indicadas pelos anos de implementação no modelo de simulação. Nos cenários de conservação as três unidades de conservação propostas são mostradas. Em nosso estudo, “*non-forest*” (não-floresta) se refere a áreas de campina, uma vegetação baixa ocorrente em áreas sazonalmente alagadas, de solos pobres e arenosos, em áreas de depleção do rio Branco.

Os Processos de desmatamento

A probabilidade do desmatamento evoluir continuamente no sul de Roraima a taxas semelhantes às observadas atualmente sem a BR-319 é reforçada pela grande disponibilidade de áreas de florestas para desmatar. As invasões de terras públicas por posseiros e grandes latifundiários (grileiros), exploração madeireira ilegal, alta rotatividade de proprietários em projetos de assentamento e avanço generalizado de pastagem sobre outras formas de uso da terra já estão presentes no sul de Roraima (BARNI et al., 2012). São fatores que contribuem para o desmatamento e

degradação descontrolada da biodiversidade e dos serviços ambientais (FEARNSIDE, 2008b; SOARES-FILHO et al., 2004). Esses fatos, por si só, justificariam a criação de áreas de proteção ambiental (NEPSTAD et al., 2006; SOARES-FILHO & DIETZSCH, 2008; SOARES-FILHO et al., 2010). Isso seria verdade mesmo sem a reconstrução da BR-319, como mostrado no cenário CONSERV1 (sem a BR-319).

Considerando a origem de atores que poderiam chegar pela abertura da BR-319 (FEARNSIDE, 2008; SOARES-FILHO et al., 2004), sua capacidade de destruir a floresta é maior do que a maioria dos migrantes atraídos para Roraima no passado recente (MOURÃO, 2011). Isso significa que os cenários simulados podem ser considerados conservadores ao assumir uma contribuição per capita constante para o desmatamento, conforme indicado por padrões históricos no sul de Roraima.

Resistência das reservas à invasão

O pressuposto do modelo é que as unidades de conservação efetivamente impedem o desmatamento. Embora invasões de reservas ocorram de fato na Amazônia, acreditamos que essa suposição é razoável para o período simulado. Um fator chave que justifica uma hipótese de não desmatamento é que as reservas simuladas foram criadas sem qualquer desmatamento prévio dentro de seus limites (por exemplo, SOARES-FILHO et al., 2010). Onde isso não é verdade, a probabilidade de desmatamento é muito maior. Por exemplo, ocorreu algum desmatamento em nossa simulação na Floresta Nacional (FLONA) de Jauaperi durante o período 2004-2007 (fase de calibração do modelo), porque havia desmatamento histórico anterior e, por isso, ocorreu desmatamento dentro e ao redor desta unidade de conservação no período da análise.

Biomassa e emissões de carbono nos cenários simulados

As emissões simuladas de carbono para a atmosfera no cenário BAU1 chegaram a $56,4 \times 10^6$ Mg em 2030 (Tabela 3). Sob o cenário BAU2 houve grande perda de carbono chegando a $86,4 \times 10^6$ Mg acumulados ao final de 23 anos de simulação. Considerando a regeneração da biomassa recobrimdo a paisagem em equilíbrio, esta perda bruta correspondeu a uma emissão comprometida (FEARNSIDE, 1997) de $80,3 \times 10^6$ Mg de carbono para a atmosfera.

A diferença de perda de carbono entre os cenários BAU1 e BAU2, representando o efeito da reconstrução da BR-319, totalizou $23,9 \times 10^6$ Mg de carbono em 23 anos simulados. Isto equivale a aproximadamente cinco anos de emissões de carbono pela grande São Paulo em 2003 (COOPE, 2005).

O cenário CONSERV1 apresentou o menor desmatamento até 2030, com uma emissão de $46,0 \times 10^6$ Mg de carbono. CONSERV2 emitiu $67,2 \times 10^6$ Mg de carbono, ou 19,1% a mais do que BAU1 (sem a BR-319) em 2030. BAU2 emitiu $80,3 \times 10^6$ Mg de carbono.

Tabela 3. Estimativa de biomassa florestal e emissões de carbono em 2030.

Cenário	Área desmatada acumulada (ha)	Crescimento 2007 / 2030 (ha)	%	Biomassa florestal (10 ⁶ Mg)	Carbono florestal (10 ⁶ Mg)	Carbono absorvido (10 ⁶ Mg)	Emissões líquidas (10 ⁶ Mg)
BAU1	715.250	342.612	91,9	126,7	61,5	5,1	56,4
CONSERV1	654.513	281.876	75,6	104,1	50,5	4,5	46,0
BAU2	858.639	486.001	130,4	178,2	86,4	6,1	80,3
CONSERV2	775.888	403.25	108,2	149,7	72,6	5,4	67,2

Desmatamento atual na região sul de Roraima: “erros e acertos” da modelagem

Estamos no início do ano de 2018 e a rodovia BR-319 ainda não foi asfaltada. Faltam pelo menos 400 km para a conclusão do trecho de mais de 800 km entre as duas capitais. No início do ano de 2017 a empresa União Cascavel reabriu uma linha de ônibus saindo de Manaus (AM) e indo até Porto Velho (RO). Esse fato “inviabiliza” o nosso estudo de cenários? Acreditamos que não, em absoluto. Acreditamos que o modelo foi adequado para representar o avanço do desmatamento na área de estudo ao longo do período de nossa análise e em cada cenário de simulação. Enfatizamos que esta não é uma simples extrapolação das taxas de desmatamento, mas envolve vários fatores subjacentes com diferentes níveis e escalas de contribuição ao desmatamento. Por exemplo, considerando o desmatamento absoluto ocorrido nos cinco municípios que compõem a região sul de Roraima no intervalo entre 2008 a 2016 (BRASIL, INPE, 2018) chegou-se ao montante de 699,8 km² (69.980 ha). Este valor foi 25,5% (239,7 km²) inferior ao desmatamento simulado (938,5 km² ou 93.850 ha) pelo cenário de linha de base BAU1 (sem a BR-319). Embora os valores do BAU1 sejam relativamente altos, em relação aos dados do INPE, a distribuição espacial do desmatamento demonstra “realismo” na simulação.

Como principais “acertos” na previsão do desmatamento neste período pelo cenário BAU1 podemos apontar o desmatamento observado atualmente nas proximidades da FLONA Jauaperí, próximo a sede municipal de São João da Baliza, na vicinal 07 de Caroebe, no PA Sucurijú e PA Equador, no município de Rorainópolis, e também no PA Caxias, no município de Caracará. No caso do PA Sucurijú (localizado adjacente à FLONA Anauá), o desmatamento real se mostrou mais danoso ao meio ambiente e à biodiversidade do que o desmatamento simulado. Este PA foi criado em 2008 com argumento de se tornar um PA modelo, livre de desmatamento. Mas, nove anos após a sua criação o que ocorreu foi justamente o contrário. Na verdade, esse PA foi criado para satisfazer o setor madeireiro local que transferiu suas indústrias itinerantes (ver BARNI et al., 2012) para a vila Nova Colina, localidade a 40 km ao sul da sede municipal de Rorainópolis e as margens da BR-174 e a apenas 20 km do PA Sucurijú e outros blocos intactos de florestas nas fundiárias das estradas vicinais daquela redondeza. O desmatamento e a extração predatória de madeira foi tão intensa nesse período no PA que, em

2016, toda a floresta remanescente incendiou-se por fogo de sub-bosque (BARNI et al., 2017).

No entanto deve-se registrar um “erro” por não termos previsto no modelo a abertura de estradas endógenas, feitas por madeireiros, penetrando um imenso bloco (~700 km²) de florestas intactas no setor sul de Caracará próximo à localidade de Novo Paraíso e à sede municipal de Rorainópolis (Figura 6). À semelhança da abertura do PA Sucurijú, esse projeto (lotes de 500 e 1.000 ha) foi criado para grandes e médios proprietários de terras, em sua maioria, radicados em Rorainópolis. Apesar de ser localizado a poucos quilômetros a oeste da sede municipal de Rorainópolis, é acessível apenas por estradas partindo do município de Caracará devido à presença do rio Anauá que faz divisa entre os dois municípios. A madeira dos lotes é liberada pela Fundação Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (FEMARH) mediante apresentação de um projeto para corte raso com o objetivo de implantação de pastagens.

Essas ações “espontâneas” do empresariado local e outras iniciativas do governo estadual, realizadas para atrair investidores, como plantadores de soja para o lavrado e dendê (*Elaeis guineensis*) na região sul do estado, por exemplo, garantem que o desmatamento continue acontecendo e ameaçando a biodiversidade em Roraima.

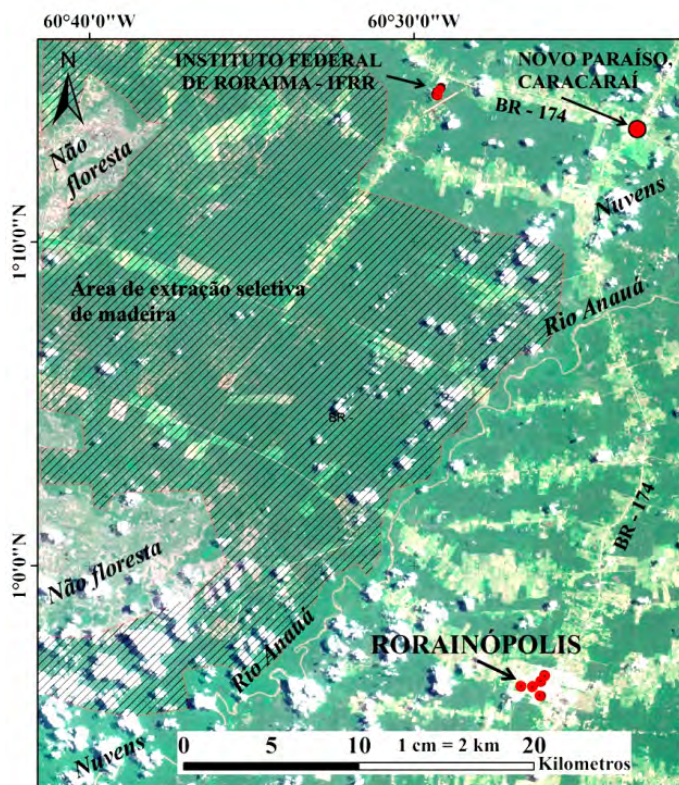


Figura 6. Imagem Sentinel-2 de 03/09/2017 (USGS 2018) da área de Extração Seletiva de Mamadeira (ESM) a oeste da sede municipal de Rorainópolis.

CONCLUSÕES

A reconstrução da rodovia BR-319 aumentaria o desmatamento na parte sul do Estado de Roraima, uma localização muito além da própria rodovia BR-319. Pelos resultados apresentados pelo modelo, estimamos que o desmatamento aumentaria entre 18 e 42% até 2030 com a reconstrução da BR-319. As emissões de carbono simuladas aumentariam em porcentagem semelhante, entre 19 e 42%. Em condições de modelo “negócios como sempre” (BAU2), a abertura da BR-319 implica em um aumento nas emissões ao longo de uma simulação de 23 anos totalizando 23,9 milhões de toneladas de carbono. Para efeito de comparação, isso representa aproximadamente dois anos de emissão de carbono pela grande São Paulo hoje.

Nosso estudo mostrou que a reconstrução da BR-319, que liga Manaus a Porto Velho, pode ter impactos ambientais muito além da sua área oficial de influência. Seus efeitos podem se irradiar para o sul do Estado de Roraima, que já é acessado por estradas existentes desde Manaus. Esses impactos devem ser considerados na tomada de decisão no projeto de recuperação da BR-319. As medidas de mitigação que poderiam reduzir esses impactos incluem a criação de unidades de conservação em Roraima nas áreas mais vulneráveis ao desmatamento, caso a BR-319 for reconstruída.

Ações de empresários locais e iniciativas governamentais para atrair investidores para o Estado, aliados à “frouxidão” nos processos de licenciamento ambiental (e.g., AZEVEDO-SANTOS et al., 2017), continuam ameaçando a biodiversidade de Roraima através da extração predatória de madeira, dos incêndios florestais e do desmatamento.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos pelo apoio financeiro o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (proc. 557152/2005-4, 474548/2006-6; 305880/2007-1), a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), a rede GEOMA e o Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA). Também a G.C. Carrero pela ajuda de campo. Este capítulo é traduzido e atualizado de um artigo originalmente publicado na revista *Environmental Management* (BARNI et al., 2015).

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, C. A.; VALERIANO, D. M.; ESCADA, M. I. S.; RENNÓ, C. D. Estimativa de área de vegetação secundária na Amazônia Legal brasileira. **Acta Amazonica**. v. 40, p. 289–302, 2010.
- AZEVEDO-SANTOS, V. M.; FEARNSIDE, P. M.; OLIVEIRA, C. S.; PADIAL, A. A.; PELICICE, F. M.; LIMA JR, D. P.; SIMBERLOFF, D.; LOVEJOY, T. E.; MAGAL-

HÃES, A. L. B.; ORSI, M. L.; AGOSTINHO, A. A.; ESTEVES, F. A.; POMPEU, P. S.; LAURANCE, W. F.; PETRERE JR, M.; MORMUL, R. P.; VITULE, J. R. S. Removing the abyss between conservation Science and policy decisions in Brazil. **Biodiversity and Conservation**. V. 26, p. 1745–1752. 2017. doi:10.1007/s10531-017-1316-x.

BARBOSA, R. I.; PINTO, F. S.; SOUZA, C. C. Desmatamento em Roraima: dados históricos e distribuição espaço-temporal. **Relatório Técnico**. Ministério da Ciência e Tecnologia, Núcleo de Pesquisas de Roraima, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Boa Vista, Roraima, Brasil. p 10, 2008. Disponível em: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://agroeco.inpa.gov.br/reinaldo/RIBarbosa_ProdCient_Usu_Visitantes/2008Desmatamento_RR_1978_2006.pdf. Acessado em: 21 jan. 2018.

BARNI, P. E.; FEARNSIDE, P. M.; GRAÇA, P. M. L. A. Desmatamento no Sul do Estado de Roraima: padrões de distribuição em função de projetos de assentamento do INCRA e da distância das principais rodovias (BR-174 e BR-210). **Acta Amazonica**. v. 42, p. 195–204, 2012.

BARNI, P. E.; FEARNSIDE, P. M.; GRAÇA, P. M. L. A. Simulating deforestation and carbon loss in Amazonia: impacts in Brazil's Roraima state from reconstructing Highway BR-319 (Manaus-Porto Velho). **Environmental Management**, v. 55, n. 2, p. 259-278, 2015. doi:10.1007/s00267-014-0408-6.

BARNI, P. E.; MANZI, A. O.; CONDÉ, T. M.; BARBOSA, R. I.; FEARNSIDE, P. M. Spatial distribution of forest biomass in Brazil's state of Roraima, northern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 377, p. 170–181. 2016.

BARNI, P. E.; SILVA, E. B. R.; SILVA, F. C. F. Incêndios florestais de sub-bosque na zona de florestas úmidas do sul de Roraima: área atingida e biomassa morta. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. 2017. Santos-SP. **Anais eletrônicos**. Disponível em: <<https://proceedings.galoa.com.br/sbsr>>. Acesso em: 25 set. de 2017.

BRASIL, INPE Monitoramento da floresta amazônica brasileira por satélite. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, São Paulo, Brasil, 2018. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/>>. Acesso em: 10 jan. 2018.

CARREIRAS, J. M. B.; JONES, J.; LUCAS, R. M.; GABRIEL, C. Land Use and Land Cover Change Dynamics across the Brazilian Amazon: Insights from Extensive Time-Series Analysis of Remote Sensing Data. **PLoS ONE**, v. 9, n. 8, e104144, 2014. doi:10.1371/journal.pone.0104144.

COPPE - Programas de Pós-Graduação de Engenharia (COPPE). Inventário de emissões de gases de efeito estufa do município de São Paulo: síntese. Prefeitura de São Paulo, Centro de Estudos Integrados sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2005. Disponível em: <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/sintasedoinventario_1250796710.pdf>. Acesso em: 27 set. 2014.

ESCADA, M. I. S.; ALVES, D. S. Mudanças de uso e cobertura do solo na Amazônia: Impactos sócio-ambientais na ocupação de regiões de fronteira agrícola. **Relatório Técnico**.

co Parcial. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais: Programa de Ciência e Tecnologia para Gestão de Ecossistemas. São Paulo, SP, Brasil, 45 p, 2001.

FEARNSIDE, P. M. Amazonian deforestation and global warming: carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon forest. **Forest Ecology and Management**, v. 80 p. 21–34, 1996. doi:10.1016/0378-1127(95)03647-4.

FEARNSIDE, P.M. Greenhouse gases from deforestation in Brazilian Amazonia: net committed emissions. *Climatic Change*, v. 35, p. 321–360, 1997. doi:10.1023/A:1005336724350.

FEARNSIDE, P. M. Amazon Forest maintenance as a source of environmental services. Rio de Janeiro. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 80, n. 1, p. 101-114, 2008a. doi: 10.1590/S0001-37652008000100006.

FEARNSIDE, P.M. The roles and movements of actors in the deforestation of Brazilian Amazonia. *Ecology and Society* 13 (1): 23. 2008b. <<http://www.ecologyandsociety.org/vol13/iss1/art23/>>

FEARNSIDE, P. M.; GRAÇA, P. M. L. A.; KEIZER, E. W. H.; MALDONADO, F. D.; 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, p. 208–233, 2009.

FERRAZ, S. F. B.; VETTORAZZI, C. A.; THEOBALD, D. M.; BALLESTER, M. V. R. Landscape dynamics of Amazonian deforestation between 1984 and 2002 in central Rondônia, Brazil: assessment and future scenarios. **Forest Ecology and Management**, v. 204, p. 69–85, 2005.

FERREIRA, L. V.; VENTICINQUE, E. M. Áreas protegidas como estratégia para conter o desflorestamento na Amazônia brasileira. In: **Anais da 59a Reunião Anual da SBPC** - Belém, PA - Julho/2007. Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), São Paulo, SP, Brasil, 2007. Disponível em: <<http://www.sbpnet.org.br/livro/59ra/pdf/leandro2.pdf>>. Acesso em: 18 set. 2012.

MARTINS, F. S. R. V.; XAUD, H. A. M.; SANTOS, J. R.; GALVÃO, L. S. Effects of fire on above-ground forest biomass in the northern Brazilian Amazon. **Journal of Tropical Ecology**, v. 28, p. 591–601, 2012. doi:10.1017/S0266467412000636.

MAZZOTI, F. J.; VINCI, J. J. Validation, verification, and calibration Using standardized terminology when describing ecological models. **IFAS Extension**, University of Florida, Gainesville, Florida, E.U.A, 2007. Disponível em: <<http://edis.ifas.ufl.edu/pdf/files/UW/UW25600.pdf>>. Acesso em: 19 out. 2013.

MOURÃO, G. M. N. El sureste de Roraima: de un marco natural muy contrastado a unos grandes asentamientos rurales. **Revista Geográfica de América Central**, Número Especial EGAL, p. 1-15, 2011Disponível em: <<http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/viewFile/2412/2308>>. Acesso em: 23 jan. 2018.

NEEFF, T.; LUCAS, R. M.; dos SANTOS, J. R.; BRONDÍZIO, E. S.; FREITAS, C. C. Area and age of secondary forests in Brazilian Amazonia 1978–2002: an empirical estimate. **Ecosystems**, v. 9, p. 609–623, 2006.

NEPSTAD, D. C.; CARVALHO, G.; BARROS, A. C.; ALENCAR, A.; CAPOBIANCO, J. P.; BISHOP, J.; MOUTINHO, P.; LEFEBVRE, B.; SILVA Jr, U. L.; PRINS, E. Road paving, fire regime feedbacks, and the future of Amazon forests. **Forest Ecology and Management**, v. 154, p. 395–407, 2001.

NEPSTAD, D. C.; SCHARTZMAN, S.; BAMBERGER, B.; SANTILLI, M.; RAY, D.; SCHLESINGER, P.; LEFEBVRE, R.; ALENCAR, A.; PRINZ, E.; FISKE, G.; ROLLA, A. Inhibition of Amazon deforestation and fire by parks and indigenous lands. **Conservation Biology**, v. 20, n. 1, p. 65–73. 2006.

NOGUEIRA, E. M.; FEARNSIDE, 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, p. 1853–1857, 2008.

RAMANKUTTY, N.; GIBBS, H. K.; ACHARD, F.; DE FRIES, R.; FOLEY, J. A.; HOUGHTON, R. A. Challenges to estimating carbon emissions from tropical deforestation. **Global Change Biology**, v. 13, p. 51–66, 2007.

SILVA, R. P. **Alometria, estoque e dinâmica da biomassa de florestas primárias e secundárias na região de Manaus (AM)**. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) & Fundação Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Manaus, Amazonas, Brasil. Tese de doutorado, 2007. 152 p.

SOARES-FILHO, B. S.; DIETZSCH, L. Reduction of carbon emissions associated with deforestation in Brazil: the role of Amazon region Protected Areas Program (ARPA). Brasília, DF, Brasil. **Worldwide Fund for Nature (WWF)**, 32 p. 2008.

SOARES-FILHO, B. S.; ALENCAR, A.; NEPSTAD, D. C.; CERQUEIRA, G.; DIAZ, M. C. V.; RIVERO, S.; SOLORZANOS, L.; VOLL, E. Simulating the response of land-cover changes to road paving and governance along a major Amazon highway: the Santarém-Cuiabá corridor. **Global Change Biology**, v. 10, p. 745–764, 2004.

SOARES-FILHO, B. S.; NEPSTAD, D. C.; CURRAN, L.; CERQUEIRA, G. C.; GARCIA, R. A.; RAMOS, C. A.; VOLL, E.; MCDONALD, A.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P. Modelling conservation in the Amazon Basin. **Nature**, v. 440, p. 520–523, 2006.

SOARES-FILHO, B. S.; MOUTINHO, P.; NEPSTAD, D. C.; ANDERSON, A.; RODRIGUES, H.; GARCIA, R.; DIETZSCH, L.; MERRY, F.; BOWMAN, M.; HISS, L.; SILVESTRINI, R.; MARETTI, C. Role of Brazilian Amazon protected areas in climate change mitigation. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA**, v. 107, p. 10.821–10.826, 2010. doi:10.1073/pnas.0913048107.

USGS – U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 20 de jan. de 2018. 2018.

VITEL, C. S. M. N. **Modelagem da dinâmica do Desmatamento de uma Fronteira em Expansão, Lábrea, Amazonas**. Dissertação de mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia (INPA), Fundação Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Manaus, Amazonas, Brasil, 2009, 121 p.

XAUD, H. A. M.; MARTINS, F. S. R. V.; dos SANTOS, J. R. Tropical forest degradation by mega-fires in the northern Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 294, p. 97–106, 2013.