

# PREDITORES DO DESMATAMENTO EM IMÓVEIS RURAIS EM UMA FRONTEIRA PECUÁRIA NA AMAZÔNIA: O CASO DO DISTRITO DE SANTO ANTÔNIO DO MATUPI, SUL DO AMAZONAS

Aurora Miho Yanai<sup>1</sup>, Leonardo Guimarães Ziccardi<sup>1</sup>, Paulo Maurício Lima de Alencastro Graça<sup>1</sup>, Maria Isabel Sobral Escada<sup>2</sup>, Philip Martin Fearnside<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas na Amazônia, Av. André Araújo n° 2936, CEP 69067-375, Manaus, Amazonas, Brasil, yanai@inpa.gov.br; leonardo.g.ziccardi@gmail.com; pmlag@inpa.gov.br; pmfearn@inpa.gov.br; <sup>2</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Av. Astronautas, n° 1758, CEP 12227-010, São José dos Campos, São Paulo, Brasil, isabel.escada@dpi.inpe.br

## RESUMO

O desmatamento na Amazônia avança em taxas alarmantes. Parte disso se dá devido ao avanço de ocupações de terras (e.g., reivindicações do CAR) em áreas de floresta remanescente. Neste estudo, testamos potenciais variáveis preditoras do desmatamento para explicar a área desmatada total (1995 a 2018) em imóveis rurais no Distrito de Matupi, sul do Amazonas. Os resultados indicaram que as variáveis preditoras: “tamanho do imóvel”, a interação entre o “ano de início do desmatamento” com o “tamanho do imóvel” e a interação entre “floresta remanescente” e “tamanho do imóvel” explicaram 90% ( $R^2_{aj} = 0,904$ ,  $p < 0,001$ ) da variância na área total desmatada nos diferentes tamanhos de imóveis analisados. Este estudo pretende contribuir ao entendimento do processo de ocupação de terras por pequenos e grandes desmatadores em áreas de fronteira pecuária. Este entendimento pode auxiliar no desenvolvimento de estratégias para frear o desmatamento e o avanço de ocupação de terras públicas na Amazônia.

**Palavras-chave** — CAR, arco do desmatamento, propriedade rural, mudança de uso e cobertura da terra, terras públicas não destinadas.

## ABSTRACT

*Deforestation in Brazilian Amazon is spreading at alarming rates. The advance of land occupation (i.e., CAR claims) into remaining forest contributed to the deforestation spread. Here, we tested potential predictors of deforestation to explain the total deforestation (1995 to 2018) in landholdings located in the Matupi District, southern Amazonas. The results indicated that “landholding size”, the interaction between “year of first clearing” and “landholding size” and the interaction between “remaining forest” and “landholding size” explained 90% ( $R^2_{aj} = 0.904$ ,  $p < 0.001$ ) of the variance in the total area cleared in the different sizes of landholdings. This study aims to contribute to understanding the process of land occupation by smallholders and largeholders in cattle-ranching frontier*

*areas. This understanding could contribute to the development of strategies to slow deforestation and the occupation of public land in Brazilian Amazon.*

**Key words** — CAR, arc of deforestation, rural property, land use and cover change, undesignated public land.

## 1. INTRODUÇÃO

O avanço da fronteira do desmatamento na Amazônia tem se acelerado nos últimos anos e, apesar dos esforços feitos no passado para frear o desmatamento, a ocupação de terras públicas para a atividade agropecuária tem contribuído para o surgimento de novos *hotspots* de desmatamento [1]. O estado do Amazonas, por exemplo, por muito tempo foi um dos estados com menores taxas de desmatamento, mas em 2021 a área desmatada no Amazonas (2.306 km<sup>2</sup>) foi similar ao estado do Mato Grosso (2.213 km<sup>2</sup>) [2]. Isso se deve ao surgimento e avanço de novas frentes de desmatamento na região sul do Amazonas. Nesta região, há uma intensa ocupação de terras públicas, expansão de estradas ilegais, exploração madeireira, pecuária e incêndios florestais [3].

O objetivo deste estudo foi identificar potenciais preditores do desmatamento que contribuem para explicar o desmatamento nos imóveis rurais, sejam elas, reivindicações do CAR (Cadastro Ambiental Rural) ou propriedades privadas. Este estudo contribuirá ao entendimento sobre como se dá a dinâmica do desmatamento em áreas ocupadas por diferentes tipos de atores em um dos principais *hotspots* de desmatamento no sul do Amazonas.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Área de estudo

A área de estudo localiza-se no Distrito de Santo Antônio do Matupi (Distrito de Matupi), município de Manicoré no sul do Amazonas (Figura 1). O Distrito de Matupi, também conhecido como “Km 180” (distância entre Humaitá e Matupi), é um dos atuais *hotspot* do desmatamento da Amazônia devido ao acelerado avanço da pecuária e

exploração madeireira, as principais atividades econômicas locais.

O processo de ocupação na região iniciou na década de 1970 com a construção da rodovia Transamazônica (BR-230), atraindo migrantes de estados vizinhos e do sul e sudeste do país. Em 1995, o INCRA criou o projeto de assentamento Matupi, atraindo mais famílias para ocuparem as terras dentro e fora do assentamento. Por sua vez, a partir de 2000 houve um crescimento significativo com a chegada de madeiras e a instalação de serrarias no local [4].

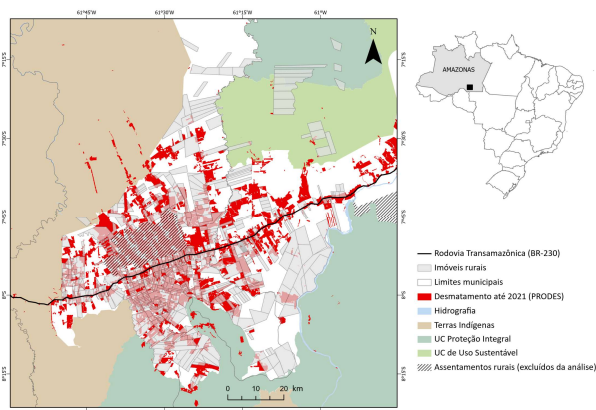


Figura 1. Área de estudo.

## 2.2. Imóveis rurais e mapeamento do desmatamento e estradas

Os imóveis rurais foram obtidos da base de dados do CAR (Cadastro Ambiental Rural) [5], o Acervo Fundiário do INCRA [6] e o SIGEF [7]. Os imóveis foram agrupados nos seguintes tamanhos: < 100; 100 - 400; > 400 - 1500 e > 1500 ha. No município de Manicoré, um módulo fiscal equivale a 100 ha. Os lotes no projeto de assentamento foram excluídos deste estudo, pois a análise teve como foco as ocupações de terras em terras públicas não destinadas e áreas protegidas.

As estradas (2018) e o desmatamento foram mapeados por interpretação visual na tela do computador (escala: 1:50.000 e, para mapear polígonos menores, foi utilizado a escala 1:20.000), utilizando imagens do TM Landsat-5 (1994-2011), LISS-3 ResourceSat-1 (2012) e OLI Landsat-8 (2013-2018).

Mapeou-se polígonos de desmatamento acumulado para o ano de 1994 (estágio inicial de ocupação no Distrito de Matupi) e, anualmente, para o período de 1995 a 2018. O desmatamento mapeado refere-se a áreas de corte-raso da floresta, áreas em pastagem e áreas em estágios iniciais de regeneração.

No total, foram identificados 628 imóveis. Deste total, foram excluídos: (i) imóveis sem nenhum desmatamento até 2018 ou (ii) polígonos de desmatamento acumulado até 1994, pois neste caso, não seria possível identificar o ano de início do desmatamento nos imóveis, informação necessária para a geração de uma das variáveis preditoras. Portanto, para esta

análise foram considerados 267 imóveis: < 100 (n = 48); 100 a 400 (n = 122); > 400 a 1500 (n = 79) e > 1500 ha (n = 18). Todos esses imóveis apresentaram pelo menos um polígono de desmatamento no período de 1995 a 2018.

## 2.3. Identificação dos preditores do desmatamento em imóveis rurais

A partir dos dados de imóveis e polígonos de desmatamento mapeados, obteve-se seis variáveis preditoras que foram posteriormente testadas: (i) tamanho do imóvel (ha); (ii) floresta remanescente em 2018 (ha); (iii) distância entre o imóvel e a rodovia Transamazônica (BR-230) (km); (iv) distância entre o imóvel e as estradas secundárias (km); (v) ano de início do desmatamento; e (vi) floresta remanescente (%) em 2018.

O “desmatamento (ha)” (1995 a 2018), foi avaliado como a variável dependente do modelo. Para avaliar o nível de correlação entre as variáveis analisadas (as preditoras e a variável dependente), foi utilizada a matriz de correlação. Foi verificada uma correlação relativamente fraca ( $r \leq 0,42$ ) entre as variáveis: “tamanho do imóvel”, “ano de início do desmatamento”, “floresta remanescente (%)” e “distância entre o imóvel e as estradas secundárias”.

As variáveis preditoras “tamanho do imóvel” e “área de floresta remanescente em 2018” tiveram forte correlação ( $r = 0,91$ ) entre elas. Portanto, foi mantido o “tamanho do imóvel” e excluída a outra da análise. Assim, as potenciais variáveis preditoras foram testadas juntas utilizando o pacote *glmulti* no software R, que tem como objetivo selecionar modelos de regressão de forma automática por meio de uma busca exaustiva. A seleção do melhor modelo de regressão múltipla foi feita em termos do Critério de Informação Akaike (AIC) e também por meio de testes exploratórios considerando a interação entre as variáveis preditoras. Foi verificado que a interação entre as variáveis resultou em melhores modelos para explicar a variável dependente “desmatamento (ha)”.

A partir do modelo selecionado foi estimado o desmatamento utilizando o algoritmo *Random forest*. Do total de imóveis rurais analisados (n = 267), 70% foram selecionados aleatoriamente como amostras de treinamento e o restante (30%) para a validação do modelo. Em seguida, o algoritmo *Random forest* foi aplicado para todo o conjunto de dados. Essas análises foram feitas no software R.

## 3. RESULTADOS

A equação 1 apresenta o modelo de regressão múltipla obtido para estimar o “desmatamento (ha)”.

Equação 1:

$$\text{Desmatamento (ha)} = B_0 + (B_1 \times \text{Tamanho do imóvel}) + (B_2 \times \text{Ano de início do desmatamento} \times \text{Tamanho do imóvel}) + (B_3 \times \text{Floresta remanescente} \times \text{Tamanho do imóvel})$$

Desmatamento (ha): Área total desmatada em hectares no imóvel de 1995 a 2018;

$B_0$ : intercepto (igual ao valor da variável dependente quando os preditores são iguais a zero);

$B_1$  a  $B_3$ : Coeficientes estimados (Tabela 1);

Tamanho do imóvel: Área do imóvel em hectares;

Ano de início do desmatamento: Ano em que o primeiro polígono de desmatamento foi mapeado dentro do imóvel;

Floresta remanescente: (Floresta (2018) / Tamanho do imóvel)  $\times$  100;

Variáveis	Coefficientes	Probabilidade
$B_0$	11,761	0,0643
$B_1$	20,837	< 0,001
$B_2$	-0,00997	< 0,001
$B_3$	-0,00831	< 0,001
p-valor	< 0,001	
$R^2$ ajustado	0,946	

Tabela 1. Coeficientes estimados e análise estatística para o modelo do desmatamento (equação 1).

As variáveis predictoras utilizadas no modelo juntas explicaram 90% ( $R^2$  aj = 0,9046;  $p < 0,001$ ) da variância na área total desmatada nos diferentes tipos de imóveis analisados.

O efeito do “ano de início do desmatamento” (i.e., tempo de ocupação da terra) interagindo com o “tamanho do imóvel” demonstrou que quanto maior for a área ocupada (ha) e mais antiga for a sua ocupação (19 a 24 anos), maior tende a ser a área desmatada (Figura 2). Entretanto, se o processo de ocupação for recente (1 a 6 anos, onde o primeiro ano de ocupação foi 2018), a área desmatada pode ser similar tanto em imóveis maiores quanto em menores, como pode ser observado no período de 2013 a 2018 (Figura 2).

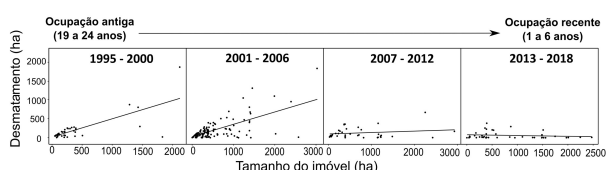


Figura 2. Relação entre o desmatamento (ha) e o tamanho do imóvel (ha) divididos em períodos de acordo com o tempo em que a área foi ocupada. O ano de 2018 foi considerado o primeiro ano de ocupação, e 1995 o vigésimo quarto ano.

Todas as variáveis no modelo tiveram um efeito significativo no desmatamento ( $p < 0,001$ ). O tamanho do imóvel teve um efeito relativo positivo, enquanto as demais variáveis tiveram um efeito relativo negativo. A Figura 3 mostra o efeito padronizado de cada variável no modelo.

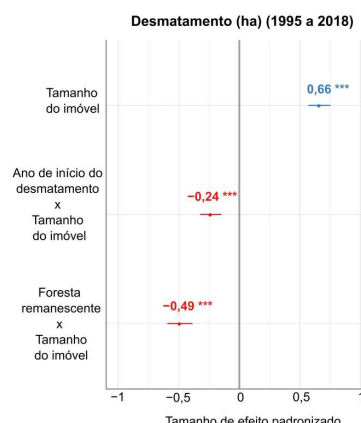


Figura 3. Estimativa do tamanho de efeito (coeficientes padronizados) e o intervalo de confiança dos parâmetros para as variáveis analisadas com valores positivos (cor azul) e negativos (cor vermelha) \*\*\*( $p < 0,001$ ).

O resultado da validação com o algoritmo *Random forest* indicou que a área desmatada estimada pelo modelo explicou 78% ( $R^2$  aj = 0,782;  $p < 0,001$ ) da variância observada no desmatamento (ha) dos imóveis analisados.

A estimativa do desmatamento com o método *Random forest* explicou 86% da variância da área desmatada (ha) nos imóveis analisados ( $R^2$  aj = 0,856;  $p < 0,001$ ) indicando que o modelo e os preditores utilizados foram bem ajustados para estimar o desmatamento nos imóveis rurais no Distrito de Matupi (Figura 4).

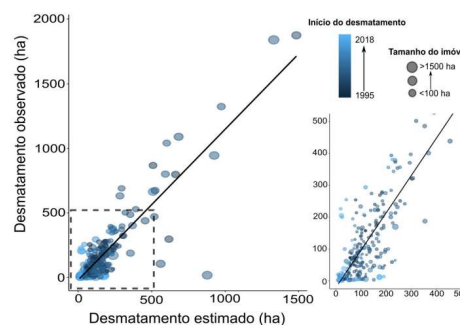


Figura 4. Relação entre o desmatamento observado e estimado pelo modelo. Os círculos representam os diferentes tamanhos dos imóveis (valores contínuos: quanto maior o imóvel maior o círculo). O ano de início do desmatamento é representado pelo gradiente de cor (quanto mais azul claro, mais recente foi a ocupação e quanto escuro mais antiga). A figura menor à direita mostra com detalhes a concentração de pontos dentro do quadrado tracejado na figura da esquerda.

#### 4. DISCUSSÃO

O modelo de regressão de estimativa do desmatamento total (1995 a 2018) nos diferentes tipos de imóveis analisados no Distrito de Matupi demonstrou que o tamanho da área ocupada é um fator importante para explicar o desmatamento em imóveis, pois imóveis maiores tendem a concentrar mais

desmatamento em sua área. Entretanto, o tempo em que a área foi ocupada também deve ser considerado. No Distrito de Matupi, os ocupantes de imóveis menores ( $\leq 400$  ha) foram os primeiros a chegar na região, estabelecendo-se no entorno da rodovia Transamazônica e próximos ao projeto de assentamento (PA Matupi) que começou a ser ocupado em 1995. Em contraste, os ocupantes de imóveis maiores ( $> 400$  ha), em geral, começaram a chegar na região depois dos anos 2000, estabelecendo-se ao longo das estradas secundárias e mais distantes da rodovia. Assim, 56% do total de imóveis  $> 400$  ha analisados ( $n = 97$ ) tinham um percentual de floresta remanescente considerável ( $\geq 80\%$ ) até 2018. No caso dos imóveis menores, apenas 19% deles ( $n = 33$ ) possuíam mais de 80% floresta remanescente.

A especulação de terras é um fator que pode explicar o considerável percentual de cobertura florestal em áreas de grandes ocupantes de terras em uma região que é um *hotspot* de desmatamento como o Distrito de Matupi. Nestes casos, o ocupante desmata somente uma porção da área para indicar a posse da terra. A especulação de terras na Amazônia é um *driver* importante na dinâmica do desmatamento, pois converter a floresta para pastagem é a forma de garantir a posse de terras [8]. Após a conversão, a terra é estocada e espera-se por um momento oportuno para a sua venda ou para investir na terra e expandir a área de pastagem. Essa oportunidade pode se dar também por meio de programas de regularização fundiária do governo, recebimento de financiamento agropecuário e pela redução de monitoramento e fiscalização ambiental.

O modelo demonstrou um bom ajuste em relação ao desmatamento (ha) (1995 a 2018) quando: (i) a área desmatada nos imóveis menores foi similar ou maior do que nos imóveis maiores, onde a ocupação foi mais recente, assim como, quando (ii) imóveis maiores apresentaram extensas áreas desmatadas devido ao seu processo de consolidação ter ocorrido a mais tempo, ou seja, são imóveis com ocupação mais antiga (Figura 4).

A interação entre o percentual de floresta remanescente e o tamanho do imóvel tem um efeito importante no desmatamento, pois, embora pequenos e grandes imóveis tenham um percentual de floresta remanescente similar, o impacto do desmatamento em termos da área desmatada é diferente. O desmatamento feito em áreas ocupadas por imóveis maiores tem um impacto muito maior na paisagem e em termos de emissões de carbono.

## 5. CONCLUSÕES

O avanço da fronteira pecuária na Amazônia se dá de diferentes formas, tal como, pela ocupação ilegal e desordenada em terras públicas não destinadas. A complexidade da mudança de uso e cobertura da terra em áreas de fronteira pecuária em expansão como no caso do Distrito de Santo Antônio do Matupi, sul do Amazonas, pode ser melhor compreendida a partir do entendimento sobre quais variáveis preditoras podem explicar o desmatamento

nos diferentes tamanhos de imóveis rurais. Neste caso, o tamanho da área ocupada, o início do processo do desmatamento associado à área ocupada e ao percentual de cobertura florestal remanescente associado ao tamanho da área ocupada foram importantes preditores para explicar a área desmatada. É relevante ressaltar que, no Distrito de Matupi, os grandes ocupantes de terra ainda não derrubaram grande parte da área de floresta que ocupam. Portanto, se não houver nenhuma medida de controle para frear o desmatamento nessas áreas, o impacto sobre a floresta e os serviços ecossistêmicos será significativo.

## 6. AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e do projeto Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais (Rede Clima continuação 20148 convênio FINEP 01.13.0353.02).

## 8. REFERÊNCIAS

- [1] M. Finer, N. Mamani, J. Spore. Amazon Deforestation Hotspots 2021. MAAP: 147, 2021. <https://www.maaproject.org/2021/amazon-hotspots-2021/>
- [2] Brasil, INPE. TerraBrasilis, PRODES (Desmatamento) – Taxas de Desmatamento Amazônia Legal. [http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/1egal\\_amazon/rates](http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/1egal_amazon/rates)
- [3] A. M. Yanai, P. M. L. A. Graça, L. G. Ziccardi, M. I. S. Escada, F. M. Fearnside. Brazil's Amazonian deforestation: the role of landholdings in undesignated public lands. *Reg Environ Change* 22, 30, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10113-022-01897-0>
- [4] D. Santini. Matupi torna-se o principal pólo de devastação do Amazonas. 2012. <https://oeco.org.br/reportagens/26580-matupi-torna-se-o-principal-polo-de-devastacao-do-amazonas/>
- [5] Brasil, SFB (Serviço Florestal Brasileiro). Cadastro Ambiental Rural (CAR). SFB, Brasília, DF, 2018. <http://www.car.gov.br/publico/imoveis/index>.
- [6] Brasil, INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária). Acervo fundiário do INCRA. 2018a. <http://acervofundiario.incra.gov.br/i3geo/geodados/AMAZONAS/>.
- [7] Brasil, INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária). 2018b SIGEF (Sistema de Gestão Fundiária). <https://sigef.incra.gov.br/>.
- [8] P. M. Fearnside. O Desmatamento da Amazônia Brasileira: 5 – Ciclos econômicos e especulação imobiliária. 2020. <https://amazoniareal.com.br/o-desmatamento-da-amazonia-brasileira-5-ciclos-economicos-e-especulacao-imobiliaria-03-11-2020/>.