

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

Rayane Pacheco Costa

**DÉFICIT ESTIMADO DE RESERVA LEGAL: reconhecimento, disposição e
alternativas de regularização**

Belo Horizonte

2020

Rayane Pacheco Costa

DÉFICIT ESTIMADO DE RESERVA LEGAL: reconhecimento, disposição e alternativas de regularização

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Raoni Guerra Lucas Rajão

Coorientador: Prof. Dr. Britaldo Silveira Soares Filho

Belo Horizonte

2020

| | |
|-------|--|
| C837d | <p>Costa, Rayane Pacheco. Déficit estimado de reserva legal [recurso eletrônico] : reconhecimento, disposição e alternativas de regularização / Rayane Pacheco Costa. – 2020. 1 recurso online (134 f. : il., color.) : pdf.</p> <p>Orientador: Raoni Guerra Lucas Rajão. Coorientador: Britaldo Silveira Soares Filho.</p> <p>Tese (doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.</p> <p>Apêndices e anexos: f. 115-134.</p> <p>Bibliografia: f. 96-114. Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.</p> <p>1. Engenharia de produção - Teses. 2. Áreas de conservação de recursos naturais - Teses. 3. Política ambiental - Teses. I. Rajão, Raoni Guerra Lucas. II. Soares Filho, Britaldo Silveira. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. IV. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 658.5(043)</p> |
|-------|--|



FOLHA DE APROVAÇÃO

DÉFICIT ESTIMADO DE RESERVA LEGAL: RECONHECIMENTO, DISPOSIÇÃO E ALTERNATIVAS DE REGULARIZAÇÃO

RAYANE PACHECO COSTA

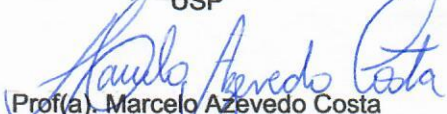
Tese submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, como requisito para obtenção do grau de Doutor em ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, área de concentração PESQUISA OPERACIONAL E INTERVENÇÃO EM SISTEMAS SOCIOTÉCNICOS, linha de pesquisa Estudos Sociais da Tecnologia, Trabalho e Expertise.

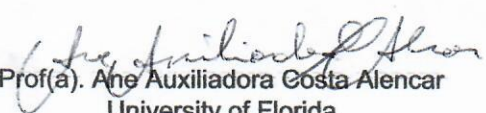
Aprovada em 24 de junho de 2020, pela banca constituída pelos membros:



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


Prof(a). Britaldo Silveira Soares Filho
UFMG


Prof(a). Gerd Sparovek
USP


Prof(a). Marcelo Azevedo Costa
DEP/UFMG


Prof(a). Ana Auxiliadora Costa Alencar
University of Florida


Prof(a). Sâmia do Socorro Serra Nunes
Instituto Tecnológico Vale

Belo Horizonte, 31 de agosto de 2020.

Aos meus pais, Florêncio e Ivonici, por toda
dedicação e incentivo.

AGRADECIMENTOS

No decorrer do doutorado tive o apoio direto e indireto de muitas pessoas e instituições às quais gostaria de expressar: muito obrigada! Em especial:

Aos meus familiares pelo apoio incondicional – Florêncio, Ivonici e Núbia.

Aos professores Raoni Rajão, Britaldo Soares Filho e Marcelo A. Costa pelas orientações, incentivo, disponibilidade e paciência que sempre demonstraram.

Ao professor Gerd Sparovek e à professora Letícia Lima pelos direcionamentos dados na qualificação. Esta tese também é resultado de seus apontamentos.

Aos membros da banca de defesa – Ane Alencar, Britaldo Soares Filho, Gerd Sparovek, Marcelo A. Costa, Raoni Rajão e Sâmia Nunes.

Aos colegas do laboratório pela compreensão, companhia e compartilhamento durante os ≈ 1460 dias fora da zona de conforto – Elaine, Giovani, Juliana, Laura, Lidiane, Luciana, Maxwel, Nehemias e Richard. Que aventura, hein?!

Aos colegas de apartamento pelo companheirismo e convívio: parte 1 – Cíntia, Fernanda, Juliane e Sara; e parte 2 – Arilton, Gisele e Izabela.

Aos demais colegas pelo apoio, uns no início e outros já no fim da jornada – Clara, Dangeles, Gilson, Juliano, Kelen, Kelly, Lucas, Samira e Silvia.

Ao Serviço Florestal Brasileiro (SFB) pela disponibilização de dados imprescindíveis para esta pesquisa.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pela bolsa de pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e à Universidade Federal de Minas Gerais pela oportunidade.

Resumo

A conservação da vegetação nativa é um dos importantes meios para se manter a prestação de serviços ecossistêmicos na biosfera, sendo de responsabilidade pública e privada. Contudo, o cenário histórico e a atual conjuntura revelam que ambos têm falhado nessa tarefa: se por um lado uma porção significativa de propriedades privadas apresenta pouca ou quase nenhuma área de Reserva Legal (RL), por outro, as Unidades de Conservação (UC) majoritariamente se concentram em uma única região (Amazônia), estando as demais fitofisionomias do Brasil sub-representadas. Em área privada, a Lei de Proteção da Vegetação Nativa (Lei 12.651/2012) regulamenta o uso e o manejo da terra e institui dois importantes instrumentos de conservação obrigatórios: a RL e as Áreas de Preservação Permanente (APP). Todavia, o nível de desconformidade de diversas propriedades rurais é gigantesco em todo o país, sobretudo na Amazônia, cuja área exigida é maior. Para regularizar o déficit ambiental das propriedades, foi criado o Cadastro Ambiental Rural (CAR) e o Programa de Regularização Ambiental (PRA) que, embora já tenham avançado na maioria dos estados, importantes etapas ainda estão por vir, tais como a análise e validação do CAR e a implementação do PRA. Para compreender os desafios atuais e futuros das próximas etapas da regularização ambiental, esta tese buscou analisar nos estados do Pará e Mato Grosso (i) a situação do CAR frente ao grau de sobreposição entre os imóveis registrados; (ii) o perfil dos prováveis adotantes do PRA e as alternativas que os proprietários rurais escolheriam; e (iii) as intenções de usos do excedente de RL. Foi possível identificar que o maior esforço de validação do CAR estará concentrado em 36% (66 mil) dos imóveis rurais que possuem altos índices de sobreposição. Uma parcela significativa dos proprietários declarou intenção de aderir à regularização, cujas alternativas mais indicadas são de cunho compensatório. Por fim, o uso alternativo do excedente de RL é o mais provável de ocorrer na área estudada, podendo emitir mais de 60 MtC. Concluiu-se que o entendimento dos desafios da validação do CAR e aceitação do PRA, bem como as intenções de uso da vegetação nativa, são indispensáveis para desenvolver e aprimorar a aplicabilidade da gama de instrumentos legais (comando e controle, econômico etc.), de modo a obter ganhos ambientais e, por conseguinte, melhoria da qualidade de vida. Sendo assim, esta tese pretende lançar nova luz sobre as dimensões da regularização ambiental de propriedades rurais no Brasil e dar mais um passo na compreensão dos esforços que serão demandados.

Palavras-chave: conservação ambiental, regularização ambiental, preferência declarada.

Abstract

The conservation of native vegetation is key to maintaining the provision of ecosystem services in the biosphere and is the responsibility of both public and private actors. However, the Brazilian society has failed to implement its forest legislation and avoid the loss of critical ecosystems. While Brazil has a substantial area protected by Conservation Units (UC), these are mostly concentrated in a single region (Amazon), while the other types of vegetation in Brazil are underrepresented. In private areas, the Native Vegetation Protection Law (Law 12,651/2012) regulates the use and management of land and institutes two important mandatory conservation instruments, the Legal Reserve (LR) and Permanent Preservation Areas (PPAs). However, the level of noncompliance of many rural properties is large throughout the country, especially in the Amazon, whose area required is greater and a significant portion of private properties have little or no LR area left with native vegetation. To regularize the environmental liabilities, the Rural Environmental Registry (CAR) and the Environmental Regularization Program (PRA) were created which, although they have already advanced in most states, important steps are still to come, such as the analysis and validation of the CAR and the implementation of the PRA. In order to understand the current and future challenges of the next stages of environmental regularization, this thesis analyzed in the states of Pará and Mato Grosso: (i) the situation of the CAR in relation to overlap among the registered properties; (ii) the profile of the PRA adopters and the options that landowners would choose; and (iii) the intentions of using the LR surplus. It was possible to identify that the greatest effort to validate the CAR will be concentrated in 36% (66 thousand) of the rural properties that have high rates of overlap. A significant proportion of the landowners declared intention to join the regularization, choosing to compensate in other farms rather than restore locally their missing LRs. Finally, farmers have declared that they are more likely to deforest their LR surplus rather than conserve the forest, generating the emission more than 60 MtC. Understanding the challenges of the CAR validation and acceptance of the PRA and, the intentions of use of native vegetation is indispensable to develop and improve the applicability of legal instruments (command and control, economic, etc.), to obtain environmental gains and, consequently, improvement of the quality of life. This thesis shed some light on the dimensions of environmental regularization of rural properties in Brazil and aimed to provide a valuable step in understanding the efforts that will be required.

Keywords: environmental conservation, regularization, stated preference.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1.1. Estrutura da tese. | 16 |
| Figura 2.1. Exemplo de um imóvel rural registrado no Cadastro Ambiental Rural (CAR). | 25 |
| Figura 3.1. Linha do tempo do número de imóveis rurais registrados no Cadastro Ambiental Rural (CAR) nos estados do Pará e Mato Grosso. | 28 |
| Figure 3.3. Summary of the steps applied to calculate the CAR overlaps and pending classification. FM – Fiscal Module. | 37 |
| Figure 3.4. Summary of the indicators adopted to assess the quality of the CAR. | 39 |
| Figure 3.5. Quality of CAR in the states of Pará and Mato Grosso. | 42 |
| Figure 3.6. Examples of CAR overlap in the states of Pará and Mato Grosso. | 43 |
| Figure 3.7. CAR overlap distribution: all analyzed registries (left) and CAR pending (right). | 45 |
| Figure 3.8. CAR overlap histogram: all analyzed registries (left) and CAR pending by group sizes (right) – up to 4 FM (small), 4-15 FM (medium) and >15 FM (large). FM – fiscal module. | 46 |
| Figure 3.9. CAR coverage in the land cadaster (INCRA/SIGEF). | 47 |
| Figure 4.1. Classification of farmers who declared to join the PRA in Pará (left) and Mato Grosso (right). | 64 |
| Figure 4.3. LR deficit compliance options stated in the CAR. | 65 |
| Figure 4.4. ROC curve of ALT and PRA models. AUC – area under the curve. | 68 |
| Figura 5.1. Alternativas de uso do excedente de RL declaradas no CAR, área de excedente de RL e volume de biomassa média acima do solo estimados no estado do Mato Grosso. | 81 |
| Figura 5.2. Provável destino do excedente de RL por bioma e percentual de tamanho em relação à área do imóvel. | 82 |
| Figura 5.3. Curva ROC (esquerda) e estatísticas de desempenho (direita) dos modelos <i>random forests</i> ajustados para o uso do excedente de RL no Mato Grosso. | 84 |
| Figura 5.4. <i>Feature importance</i> das variáveis para o ajuste do modelo <i>oversampling</i> | 85 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Table 3.1. Estimated situation of CAR based on the overlap among the registries analyzed in the states of Pará and Mato Grosso. | 44 |
| Table 3.2. Estimated coefficients and levels of significance for CAR quality regression models. | 51 |
| Table 4.1. Results of the PRA adherence (PRA model) and alternatives to regulate LR deficit (ALT model) in Pará and Mato Grosso. | 69 |
| Tabela 5.1. Preferência declarada dos produtores rurais pelo uso do excedente de RL no Mato Grosso. | 81 |
| Tabela 5.2. Emissões e remoções de carbono na biomassa viva a partir de usos prováveis do excedente de RL. | 83 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIC : Akaike Information Criterion
ANA : Agência Nacional de Águas
APPs : Áreas de Preservação Permanente
AR : Arrendamento
AST : Assentamentos da reforma agrária
AUC : Area Under the Curve
AvAp : Estoque médio de carbono em área de pastagem
CAR : Cadastro Ambiental Rural
CF : Código Florestal
CI : Compensar outro imóvel
CIT : Centro de Inteligência Territorial
CONAMA : Conselho Nacional do Meio Ambiente
CRA : Cota de Reserva Ambiental
CSR : Centro de Sensoriamento Remoto
EMBRAPA : Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
e.g. : *exempli gratia* (por exemplo)
FC : Forest Code
FM : Fiscal Module
FNM-Ac : Floresta não manejada para Área agrícola
FNM-Ap : Floresta não manejada para Área de pastagem
FUNAI : Fundação Nacional do Índio
Gt : Gigatonelada (10^9 t)
ha : Hectares
HDI : Human Development Index
IBGE : Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
i.e. : *id est* (isto é / ou seja)
ILPF : Integração lavoura-pecuária-floresta
INCRA : Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INPE : Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IRU : Imóvel Rural
km² : Quilômetros quadrados

LAU : Licença Ambiental Rural

LPVN : Lei de Proteção da Vegetação Nativa

LR : Legal Reserve

Mha : Milhões de hectares

MT : Mato Grosso

MtC : Milhões de toneladas de carbono

NGOs : Non-Governmental Organizations

NVPL : Native Vegetation Protection Law

OF : Outros Fins

OLS : Ordinary Least Squares

PA : Pará

PCT : Povos e Comunidades Tradicionais

PD : Preferência Declarada

Pg : Petagrama (10^{15} g)

PRA : Programa de Regularização Ambiental

PRADA : Projeto de Recomposição de Áreas Degradadas e Alteradas

PRODES : Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia

RemAc : Remoção anual de carbono em área agrícola

RemF : Remoção anual de carbono em floresta manejada

RL : Reserva Legal

ROC : Receiver Operating Characteristic

RPPN : Reserva Particular do Patrimônio Natural

SA : Servidão Ambiental

SEMA/MT : Secretaria de Estado de Meio Ambiente do Mato Grosso

SEMAS/PA : Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Pará

SFB : Serviço Florestal Brasileiro

SICAR : Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural

SIGEF : Sistema de Gestão Fundiária do INCRA

tC : Toneladas de Carbono

TI: Terra Indígena

UC : Unidade de Conservação

vs. : *versus*

WTP : Willingness to pay

Sumário

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 13 |
| 1.1 | Imóvel rural: a unidade de conservação e regularização ambiental | 13 |
| 1.2 | Abordagem de pesquisa | 15 |
| 2 | REVISÃO DE LITERATURA | 17 |
| 2.1 | Conservação ambiental em propriedades privadas | 17 |
| 2.1.1 | Custos e benefícios da conservação e regularização ambiental | 18 |
| 2.2 | Déficit de reserva legal | 20 |
| 2.2.1 | Produtor rural: o agente decisor | 20 |
| 2.2.1.1 | Preferência declarada | 21 |
| 2.2.1.2 | O elo entre a intenção e a execução | 23 |
| 2.2.2 | Panorama da regularização | 25 |
| 3 | SITUAÇÃO DO CADASTRO AMBIENTAL RURAL (CAR) | 27 |
| 3.1 | Introduction | 31 |
| 3.2 | Methods | 34 |
| 3.2.1 | Study area and data collection | 34 |
| 3.2.2 | Data analysis | 35 |
| 3.2.2.1 | CAR quality indicators | 36 |
| 3.2.2.2 | Understanding the CAR quality: the statistical model | 40 |
| 3.3 | Results | 41 |
| 3.3.1 | Quality of CAR | 41 |
| 3.3.1.1 | CAR overlap | 42 |
| 3.3.1.2 | CAR vs. INCRA | 46 |
| 3.3.1.3 | Vegetation declared vs. observed and LR deficit/surplus recognition | 48 |
| 3.3.2 | Explanatory factors of CAR quality | 50 |
| 3.4 | Discussion | 54 |
| 3.5 | Conclusion | 55 |
| 4 | ADESÃO AO PROGRAMA DE REGULARIZAÇÃO AMBIENTAL (PRA) | 56 |
| 4.1 | Introduction | 57 |
| 4.2 | Methods | 61 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 4.3 | Results | 63 |
| 4.3.1 | Farmers' stated preferences | 63 |
| 4.3.2 | LR compliance choice model | 66 |
| 4.4 | Discussion | 70 |
| 4.5 | Conclusion | 73 |
| 5 | USO DO EXCEDENTE DE RESERVA LEGAL (RL) | 74 |
| 5.1 | Introdução | 75 |
| 5.2 | Métodos | 78 |
| 5.3 | Resultados | 80 |
| 5.3.1 | Indicativos de uso do excedente de RL | 80 |
| 5.3.2 | Conservação vs. desmatamento legal..... | 82 |
| 5.4 | Discussão e conclusão | 85 |
| 6 | CONCLUSÃO E IMPLICAÇÕES | 88 |
| 6.1 | Circunstâncias da implementação da LPVN | 88 |
| 6.2 | Recomendações para avançar na regularização e conservação ambiental em terras privadas | 93 |
| 6.3 | Caminhos para futuras pesquisas | 95 |
| | REFERÊNCIAS | 96 |
| | APÊNDICE A – MATERIAL SUPLEMENTAR SEÇÃO 3 | 115 |
| | APÊNDICE B – MATERIAL SUPLEMENTAR SEÇÃO 4 | 124 |
| | APÊNDICE C – MATERIAL SUPLEMENTAR SEÇÃO 5 | 128 |
| | ANEXO – NORMAS PARA REGULARIZAÇÃO AMBIENTAL DE IMÓVEIS RURAIS | 131 |

1 INTRODUÇÃO

1.1 Imóvel rural: a unidade de conservação e regularização ambiental

As terras privadas cobrem cerca de 44% (375 Mha) do território brasileiro, sendo que 70% dessa área é representada por propriedades médias (imóveis maiores que 20 – 2.200 ha) e grandes (imóveis com área a partir de 75 – 8.250 ha) (Sparovek et al., 2019). Juntos, os imóveis rurais englobam cerca de 53% da vegetação nativa existente no país (Soares-Filho et al., 2014). Contudo, a conservação em terras privadas persiste sendo um desafio atual e, possivelmente, o será no futuro da gestão agroambiental no Brasil. A transformação da paisagem rural sem a adoção de práticas de manejo sustentável – dominada, principalmente, por projetos de colonização, produção agropecuária, mineração e extração madeireira – desencadeia degradação ambiental que, além de afetar os recursos naturais (perda de serviços ecossistêmicos), compromete a produção rural (perda de produção agrícola por descontrole biológico e intempéries) e a qualidade de vida da população (consumo de alimentos com resíduos de agrotóxicos).

O fato é que no passado e, não raro, hoje, as políticas de desenvolvimento econômico no Brasil não incorporam o fator ambiental, tornando as políticas ambientais reativas ao surgimento de problemas. Isto é, constituem-se como medidas de correção e/ou remediação, em vez de instrumentos capazes de se antecipar às situações impostas pelo meio. Um exemplo disso foi o surgimento do Código Florestal (CF) em 1934, que estabeleceu a criação da quarta parte – a atual Reserva Legal (RL)¹ – e a definição de floresta protetora que deu origem as Áreas de Preservação Permanente (APP)² (Rajão et al., 2018; Senado Federal, 2011). Tal surgimento foi motivado pela manutenção do estoque de madeira que estava ameaçado pela expansão das culturas de cana-de-açúcar e de café no período colonial e não pelo genuíno interesse de conservação ambiental (Senado Federal, 2011).

O CF passou por diversas alterações ao longo dos anos, tendo havido oscilações nos percentuais exigidos de conservação. O primeiro CF (Decreto 23.793/1934) estabelecia a

¹ Área de vegetação nativa localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, delimitada pelo percentual (20-80%) de área do imóvel a depender da região e tipo de vegetação nativa, com a função de assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais do imóvel rural, auxiliar a conservação e a reabilitação dos processos ecológicos e promover a conservação da biodiversidade, bem como o abrigo e a proteção de fauna silvestre e da flora nativa (Brasil, 2012, Art. 1ºA e 12).

² Área que envolve zonas sensíveis como os recursos hídricos (APP hídrica) e elevações (APP de topo de morro), com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (Brasil, 2012, Art. 1ºA e 4º).

manutenção de 25% da área dos imóveis rurais com cobertura vegetal nativa (Brasil, 1934; Senado Federal, 2011). Na mudança seguinte, o novo CF (Lei 4.771/1965) aumentou o percentual de RL para 50% na Amazônia, que mais tarde foi alterado³ para 80% em área de floresta, 35% no cerrado e 20% nas demais vegetações na região da Amazônia Legal⁴ (Brasil, 1965; Senado Federal, 2011). Atualmente, a Lei de Proteção da Vegetação Nativa (LPVN – Lei 12.651/2012), que substituiu o CF, apresenta alguns retrocessos. Entre eles, a permissão de manter atividades agropecuárias em áreas protegidas (e.g. APP e RL) sem a necessidade de recuperação total da vegetação nativa (Brancalion et al., 2016; Brasil, 2012). Todavia, há de se ressaltar que a Lei inovou ao instituir importantes instrumentos para monitoramento e adequação ambiental dos imóveis rurais: o Cadastro Ambiental Rural (CAR), o Programa de Regularização Ambiental (PRA), o Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas e Alteradas (PRADA) e a Cota de Reserva Ambiental (CRA) (Brancalion et al., 2016; Brasil, 2012).

A regularização ambiental de imóveis rurais está ligada, sobretudo, ao uso e ocupação da terra. As atividades produtivas, quando aplicável⁵, passam por licenciamento ambiental (a chamada Licença Ambiental Rural – LAU), autorizações como supressão de vegetação nativa (Conama, 369/2006, 237/1997; Brasil, 2012), registro do imóvel rural no CAR e adoção de medidas na propriedade ou extrapropriedade para restaurar ou compensar as áreas degradadas (Brasil, 2012). Esta última foi incluída no CF de 1965, por meio da Medida Provisória 2.166-67/2001; e, na LPVN de 2012, as alternativas de compensação foram elencadas e ampliadas (Brasil, 2012, 2001). Apesar das opções existentes, a efetiva regularização do déficit⁶ ambiental é uma realidade distante e depende, em grande parte, dos produtores rurais e de fatores impulsionadores. Nesse sentido, as próximas seções apresentam como esta tese doutoral pretende contribuir com a discussão e como a literatura vigente aborda os pontos centrais da conservação e regularização ambiental em propriedades privadas.

³ Antes da definição atual da RL que foi editada pela Medida Provisória 2.166-67/2001, em 1996, a Medida Provisória 1.511 havia ampliado de 50 para 80% a RL na Amazônia (Senado Federal, 2011).

⁴ Amazônia Legal é um conceito político para fins de planejamento, definido no plano de valorização econômica da Amazônia brasileira (Lei 1.806/1953 e Lei 5.173/1966) e alterações posteriores (Lei Complementar 31/1977 e Constituição Federal de 1988). Corresponde aos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins e parte do estado do Maranhão (a oeste do meridiano de 44° de longitude oeste) (SUDAM, n.d.).

⁵ Por exemplo, piscicultura, silvicultura, suinocultura e plantação de cana-de-açúcar.

⁶ Definido como a existência de vegetação nativa inferior às exigências legais (Brasil, 2012).

1.2 Abordagem de pesquisa

Além da conservação, a regularização ambiental dos imóveis rurais é o principal ponto da LPVN a ser colocado em prática. Importantes passos foram dados para a regularização ambiental dos imóveis rurais nestes últimos oito anos. Contudo, ainda está longe de atingir os níveis necessários e, não obstante, muitas questões continuam sem respostas, algumas das quais se destacam:

- (i) Quais são as condições dos dados do CAR? Quais desafios os estados possuem para validar esse cadastro que representa o primeiro passo da regularização ambiental dos imóveis rurais?
- (ii) Será que os produtores rurais pretendem adotar medidas para regularizar seus déficits ambientais, já que não cumpriram com os requisitos de conservação? Qual alternativa de regularização eles escolheriam?
- (iii) O que os possuidores de excedente de vegetação nativa pretendem fazer: conservar ou desmatar? Quais são as consequências das escolhas: emissões ou remoções de gases do efeito estufa?
- (iv) O que o Poder Público pode fazer para estimular, de fato, a conservação e a restauração de florestas?

Para investigar essas inquietações, este estudo buscou analisar os desafios da implementação da LPVN nos estados do Pará e Mato Grosso. Em particular, concentrou-se em avaliar a situação do CAR, calculando o grau de sobreposição entre os imóveis rurais, comparando a similaridade geométrica com o registro no INCRA⁷, confrontado a área de vegetação declarada com a área observada por satélite e analisando o nível de entendimento dos cadastrantes sobre os requisitos da LPVN. Depois, combinou essas análises para formar um índice de qualidade do CAR que foi explorado em uma associação de fatores sociodemográficos, econômicos e ambientais para interpretar os padrões identificados. Em seguida, as perspectivas dos produtores rurais em relação à adesão ao PRA e às modalidades que pretendem adotar para regularizar a RL foram exploradas em modelos empíricos, procurando identificar o perfil provável dos produtores rurais com menor resistência ao Programa e daqueles que buscarão a compensação ou restauração da RL. Por último, analisou-se os indicativos de usos do excedente de vegetação nativa, as expectativas geradas e suas implicações, estimando, assim, a área provável de desmatamento legal e o volume de emissões

⁷ Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária.

de carbono. Por fim, analisou os indicativos de usos do excedente de vegetação nativa, as expectativas geradas e suas implicações, estimando, assim, a área provável de desmatamento legal e o volume de emissões de carbono. Na conclusão, foram apresentadas e discutidas as perspectivas da adequação ambiental de propriedades rurais, suas potencialidades e oportunidades para reforço. Desse modo, a tese foi estruturada em seis seções (Figura 1.1).

Os recortes temático e espacial são justificados considerando as proposições sobre o objeto e a área estudada: a RL é a maior área de vegetação nativa em terras privadas com relevante interesse social e ambiental (Brasil, 2012), além disso, surgiu como “estoque de lenha” e depois foi transformada em “protetora das espécies” (Senado Federal, 2011); o Pará e Mato Grosso são pioneiros na regularização ambiental e monitoramento do desmatamento em propriedades rurais (Azevedo et al., 2014; Pires e Ortega, 2013; Rajão et al., 2012). São também grandes produtores de *commodities* no Brasil e os maiores desmatadores da Amazônia e, estão em uma região de fronteira agrícola e desmatamento.

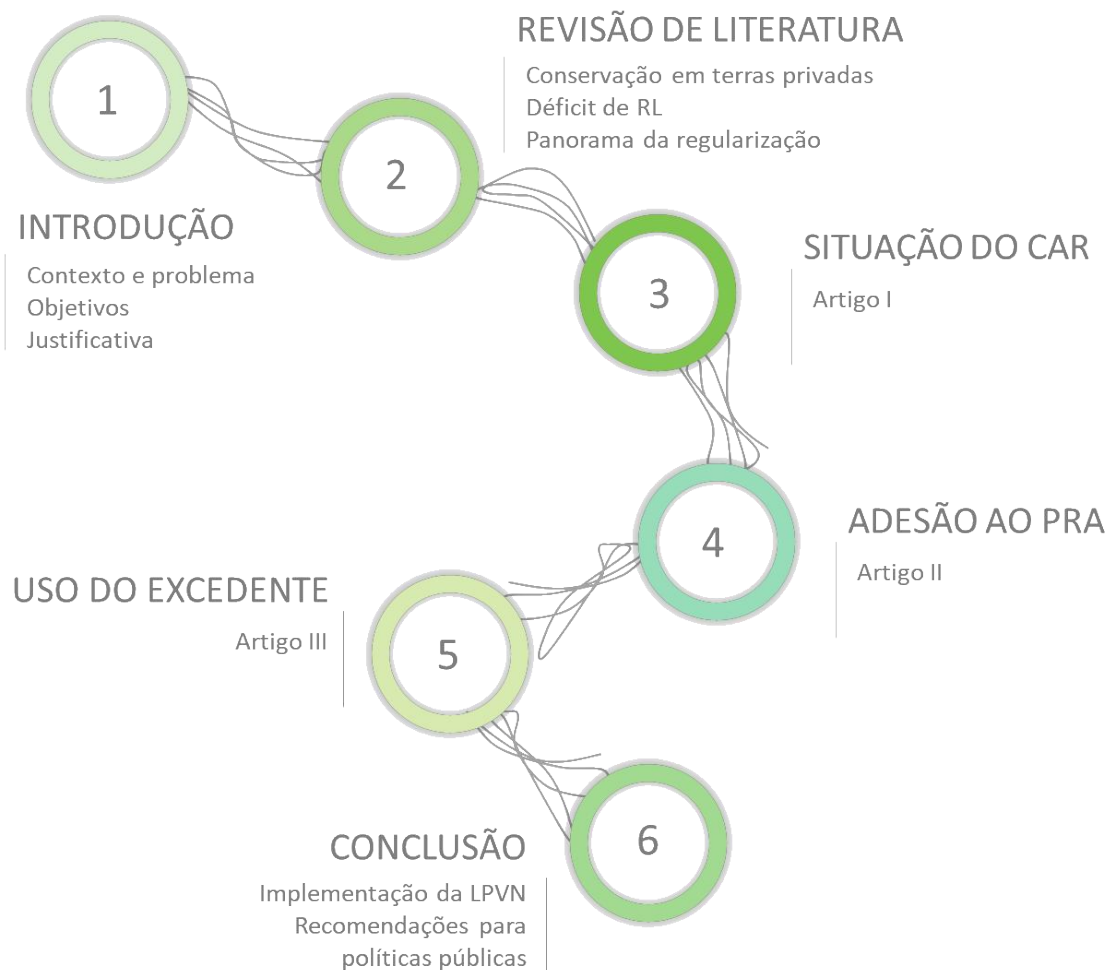


Figura 1.1. Estrutura da tese.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Conservação ambiental em propriedades privadas

A conservação em propriedades privadas é impulsionada por ampla variedade de influências que incluem fatores externos (incentivo financeiro e contexto político) e internos (questões pessoais e psicológicas – atitudes, valores e motivação) (Gooden, 2019). No Brasil, a maior porção da vegetação nativa conservada em terras privadas é derivada de instrumentos de comando e controle, isto é, conservação involuntária, ao passo que a conservação voluntária é relativamente baixa. Nesta, o proprietário do imóvel rural decide por sua própria vontade renunciar ao direito de uso, exploração ou supressão de recursos naturais existentes na propriedade, como é o caso da servidão ambiental e da Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) (Brasil, 2012, 2000, 1981; Ladle et al., 2014). Naquela, o proprietário tem o dever/responsabilidade de conservar parte de seu imóvel para atender o interesse coletivo (serviços ecossistêmicos), como é o caso da RL⁸ e APPs (Brasil, 2012).

Ambos modelos de conservação em terras privadas (voluntário e obrigatório) têm desafios. De um lado, a obrigatoriedade não garante total cumprimento e depende da aceitação social, ainda que as estratégias involuntárias de conservação possam alcançar resultados eficazes (Kamal et al., 2015). Por outro, criar uma RPPN, por exemplo, não é tão simples e é provável que os modestos incentivos financeiros oferecidos sejam insuficientes para encorajar um número expressivo de proprietários de terras a se envolverem em um processo demorado e incerto (Ladle et al., 2014). Também é importante destacar que o perfil dos conservadores voluntários é distinto e geralmente tem um alto grau de autonomia, com motivação e meios para comprar ou disponibilizar suas terras para proteção da biodiversidade e/ou da paisagem natural (Gooden, 2019). Além disso, muitos proprietários operam a área de conservação como um projeto pessoal ou familiar, e não como seu principal meio de subsistência (Gooden, 2019).

A conservação em terras privadas é um desafio ambiental, político e social. Os regulamentos jurídicos são mudados para ajustar os padrões ambientais aos interesses de manobra (sejam ruralistas ou ambientalistas) que provocam processos contraditórios e baixa

⁸ A RL é definida pelo percentual de área do imóvel rural a depender da localização geográfica, tipo de vegetação nativa, tamanho da propriedade (pequena ou média/grande), período de desmatamento (anterior ou posterior a 2008), casos especiais (presença de zoneamento ecológico-econômico e percentual de UCs e/ou Terras Indígenas – TIs nos municípios), cômputo de APP no cálculo da RL e atendimento dos requisitos previstos em legislação anterior (Brasil, 2012). Em geral, os percentuais mínimos exigidos da área do imóvel quando localizado na Amazônia Legal são de 80% ou 50% para fins de recomposição em área de floresta, 35% em área de cerrado e 20% em área de campos gerais; e 20% se o imóvel for localizado nas demais regiões do país (Brasil, 2012).

aplicação da lei, por exemplo a LPVN (Pires e Savian, 2016; Schmidt e McDermott, 2014; Sparovek et al., 2011). Também tem efeito social paradoxal: a ausência impacta os interesses coletivo (serviços ecossistêmicos) e a presença causa perdas econômicas individuais (Schmidt e McDermott, 2014; Stickler et al., 2013). Apesar disso, a preservação da biodiversidade e a prestação contínua de serviços ecossistêmicos dependem cada vez mais da conservação ambiental em terras privadas (Drescher et al., 2017; Kamal et al., 2015).

A importância da conservação em terras privadas pode ser atrelada a vários aspectos, entre eles o fato de que somente os parques e as áreas protegidas em terras públicas são insuficientes para sustentar a biodiversidade global (Kamal et al., 2015) e, em muitos países ao redor do mundo, as terras privadas cobrem grandes áreas, das quais ainda possuem uma porção significativa de vegetação nativa (Drescher e Brenner, 2018). Assim, a conservação nessas áreas é crucial para a formação de corredores que podem conectar remanescentes de vegetação nativa (e.g. Unidades de Conservação – UC em terras públicas com outras áreas vegetadas) e compor mosaicos de biodiversidade, favorecendo, ao mesmo tempo, os processos produtivos e o microclima local, por exemplo (Guzmán Wolfhard e Raedig, 2019; Rother et al., 2018). Nesse sentido, o estudo da conservação em terras privadas está situado no coração de uma ciência emergente do sistema terrestre e envolve a transdisciplinaridade da ecologia, geografia, economia, psicologia e ciências sociais (Drescher e Brenner, 2018).

Gooden (2019) apresentou três facetas da conservação ambiental em terras privadas: terra como lugar, posse e projeto. Para a autora, alguns proprietários de terras incorporam a identidade da área e desenvolvem um relacionamento pessoal com as características locais (beleza cênica da paisagem e da fauna). Outros se sentem guardiões ou protetores, chegando a recusar ofertas de parcerias ou arrendamento da área em favor da propriedade exclusiva. Nesse mesmo grupo, estão os proprietários que fazem projetos de restauração e recorrem à metáfora artística, por exemplo, paisagem como tela viva e lago como sinfonia, para explicitar como o ambiente responde aos seus esforços. Por fim, existem os proprietários que adotam práticas de conservação por acreditarem que seus projetos contribuem para resolver problemas ambientais mais amplos (disponibilidade hídrica, crise climática e corredores que conectam biodiversidade) (Gooden, 2019).

2.1.1 Custos e benefícios da conservação e regularização ambiental

As exigências da LPVN são percebidas como barreira ao desenvolvimento agropecuário, devido ao custo de oportunidade de deixar de atribuir usos mais rentáveis em

parte da propriedade (Azevedo et al., 2017; Campos e Bacha, 2013; Fasiaben et al., 2011; Sparovek et al., 2012, 2011; Stickler et al., 2013). Stickler et al. (2013) estimaram que ao aumentar a RL de 50 para 80% na Amazônia Legal, os benefícios perdidos nos setores de soja e pecuária no Mato Grosso atingiram 1,2 bilhão de dólares (ou uma média de 227 mil dólares por propriedade). Campos e Bacha (2013) estimaram que o custo de oportunidade da RL para as culturas de milho e soja atinge 16,71 e 38,94 reais por hectare, respectivamente. Isso implicou em um custo de oportunidade mínimo de um bilhão de reais na colheita de milho de 2012-2013, por exemplo (Campos e Bacha, 2013). Outro estudo mostra que os custos associados ao cumprimento da LPVN em uma região do Cerrado pode aumentar entorno de 4,5 a 8,2% ao ano para o produtor rural (Kennedy et al., 2016b).

Essa resistência pode ser ainda maior quando se trata de restaurar a área desmatada ilegalmente, pois, além da perda de receitas da área, tem-se os custos com a restauração que, muitas vezes, leva anos e pode não ser efetiva (Irigaray, 2007; Sparovek et al., 2012; Trevisan et al., 2016), já que depende do contexto local, como a intensidade da degradação, tipos de solo, características do entorno e manejo (Brancalion et al., 2015). Os custos de oportunidade da restauração no Pará foram estimados entre 4,8 e 5,3 bilhões de reais, além de uma redução de mais de 20% da área de produção agropecuária (Silva e Nunes, 2017). Em geral, os custos privados da restauração das áreas de RL dependem do método a ser adotado: no Mato Grosso, os custos totais da restauração ativa⁹ foram estimados em 15 bilhões de dólares (Stickler et al., 2013); no Pará, os custos podem variar de 5,2 a 6,9 bilhões a depender do cenário (Silva e Nunes, 2017); e em Minas Gerais, a restauração passiva¹⁰ foi estimada em 175 ± 47 milhões de dólares (Nunes et al., 2017).

Ao mesmo tempo, porém, “as perdas relacionadas à produção poderão ser compensadas com o aumento da produtividade” (Silva e Nunes, 2017, p. 40) e provisão de serviços ecossistêmicos que beneficiam direta e indiretamente a produção agrícola. Exemplos notáveis incluem a proteção da biodiversidade, disponibilidade e melhoria da qualidade das águas superficiais, regulação do clima, redução do risco de incêndio, polinização e controle biológico, recursos importantes para a agropecuária e segurança alimentar (Aragão et al., 2008; Ditt et al., 2010; Fearnside, 1997; Kennedy et al., 2016a, 2016b; Metzger et al., 2019; Strand et al., 2018). Outros benefícios e/ou incentivos aos produtores rurais para adesão do processo de

⁹ Envolve a interferência humana por meio de técnicas (e.g. plantio de mudadas) para acelerar e influenciar a sucessão natural.

¹⁰ “Retorno espontâneo de um ecossistema degradado rumo a um estado ou trajetória desejável pré-existente, por meio de resiliência, sucessão ou regeneração natural, sem intervenção humana deliberada” (Aronson et al., 2011, p. 23).

regularização envolvem a suspensão de multas, acesso a créditos e mercados (Azevedo et al., 2017, 2014; Santiago et al., 2018).

2.2 Déficit de reserva legal

Embora a manutenção da vegetação nativa seja obrigatória para todos os imóveis rurais em território brasileiro, seu cumprimento não é bem-sucedido. Assim, grande quantidade de déficit é acumulada em todo país, especialmente na Amazônia e em regiões com significativo uso agrícola, onde a inadimplência dos imóveis rurais é histórica e recorrente às diversas alterações da legislação (Azevedo et al., 2015; IPEA, 2011; Nunes et al., 2016; Soares-Filho et al., 2014; Sparovek et al., 2012, 2011; Stickler et al., 2013).

2.2.1 Produtor rural: o agente decisor

O uso e ocupação de terras privadas é uma decisão tomada por seus proprietários. Assim, para mudar o comportamento dos proprietários de terras em direção a uma produção mais sustentável, os instrumentos de políticas públicas devem ter como objetivo influenciar suas motivações e condutas (de Snoo et al., 2013). Mas, a compreensão de comportamentos e ações ambientais dos produtores rurais envolve análise de fatores internos e externos ao contexto explorado (Gooden, 2019; Thompson et al., 2015; van Dijk et al., 2016). Tendo em vista o estágio inicial do processo de regularização ambiental dos imóveis rurais no Brasil e a ausência de um banco de dados com registros de alternativas escolhidas para a regularização do déficit de RL, as análises são direcionadas para a preferência declarada.

Estudos anteriores têm utilizado modelos econométricos e probabilísticos (Garrett et al., 2017; Rasmussen et al., 2017; Santiago et al., 2018; Schons et al., 2019), simulação baseada em agentes (Deadman et al., 2004), análise de correspondência múltipla e agrupamento estatístico (Trevisan et al., 2016) a partir de dados geoespaciais e socioeconômicos de produtores rurais para identificar fatores que incentivam a conformidade e/ou a não conformidade com a LPVN; influenciam na percepção e adoção de planos de restauração; e/ou explicam o comportamento de uso da terra (Deadman et al., 2004; Garrett et al., 2017; Rasmussen et al., 2017; Santiago et al., 2018; Schons et al., 2019; Trevisan et al., 2016). Na linha qualitativa, alguns estudos têm investigado a percepção dos possuidores de terra sobre a

restrição do desmatamento e a influência para o cumprimento legal (Coudel et al., 2012; Schmidt e McDermott, 2014).

Os produtores rurais tendem considerar, em geral, a percepção econômica, ecológica e política, por exemplo: incentivos à conformidade, custos de compensação, restauração e oportunidade, potencial de futuras mudanças na lei, probabilidade de ser pego e punido por incumprimento e mudanças no cenário dos últimos anos, causado pelo envolvimento do governo com o setor privado e organizações não-governamentais (ONGs) nos esforços de aplicação das leis ambientais (Azevedo et al., 2017; Jung et al., 2017; Schons et al., 2019; Trevisan et al., 2016). Estimativa demonstra que as características dos imóveis rurais e o contexto local são fortes influenciadores na disposição dos produtores desenvolverem planos de restauração, como tamanho da propriedade, diversificação de cultivos, declividade do terreno e presença de fontes de água, assistência técnica (extensão rural) e licenças ambientais (Santiago et al., 2018). Os atributos relacionados aos proprietários (como idade, percepção, escolaridade e experiência) também são identificados com impactos positivos na disposição para participar de programas agroambientais (Burton, 2014; van Dijk et al., 2016; Zhang et al., 2015).

2.2.1.1 Preferência declarada

As técnicas de preferência declarada (PD) baseiam suas estimativas em análises de escolhas hipotéticas (considera realizar no futuro) por entrevistados para ajustar funções de utilidade (Kroes e Sheldon, 1988; Ortuzar e Willumsen, 2011). Entre as potencialidades da preferência declarada pode-se destacar a cobertura de uma gama mais ampla de atributos e condições do que o sistema real permitiria (informações observadas) (Kroes e Sheldon, 1988; Ortuzar e Willumsen, 2011). Apesar de algumas críticas, no início, sobre a precisão das intenções declaradas para revelar o comportamento real, a abordagem de PD¹¹ é bastante documentada na literatura e amplamente adotada em pesquisas de marketing, economia e transporte (Kroes e Sheldon, 1988; Ortuzar e Willumsen, 2011). Os três métodos de PD mais comuns são: (i) avaliação contingente – lida principalmente com a informação de disposição a pagar (*WTP – Willingness to Pay*) por um serviço/produto; (ii) análise conjunta – os respondentes são solicitados a classificar os serviços/produtos apresentados; e (iii) escolha declarada – é similar à análise conjunta, uma vez que é apresentada uma série de alternativas

¹¹ É uma inestimável ferramenta para auxiliar na modelagem de novas alternativas (Ortuzar e Willumsen, 2011).

hipotéticas, no entanto, estes dois métodos diferem em termos da métrica de resposta, uma vez que os entrevistados são convidados a escolher sua alternativa preferida entre o número total de alternativas (Ortuzar e Willumsen, 2011).

A literatura apresenta uma série de teorias, métodos, técnicas e modelos que são utilizados em estudos de PD, a depender do contexto de aplicação, destacando-se teoria das decisões complexas, que descreve o processo mental que permite uma pessoa escolher uma alternativa a partir de um conjunto de alternativas concorrentes (Louviere, 1988); e teorias de comportamento do consumidor, que transformam as hipóteses sobre os seus desejos em uma função de demanda que expressa a ação de um determinado consumidor sob certas circunstâncias (Ben-Akiva e Lerman, 1985). A segunda, subdivide-se em teoria do comportamento racional, teoria do consumidor econômico, teoria da escolha discreta (determinística) e teoria da escolha probabilística com utilidade constante (considera o comportamento do consumidor como fundamentalmente probabilístico) ou utilidade randômica (considera um componente aleatório associado ao comportamento de escolha individual e o indivíduo sempre selecionará a alternativa com a maior utilidade) (Ben-Akiva e Lerman, 1985; Ortuzar e Willumsen, 2011).

A análise de dados em um estudo de PD pode utilizar-se, por exemplo, de regressão múltipla, análise monotônica da variância (monanova) ou modelos de escolha discreta (*logit*, *probit*) (Ortuzar e Willumsen, 2011; Senna, 2014). O princípio básico dos modelos de escolha discreta enuncia que a probabilidade de um indivíduo escolher uma determinada opção é em função de suas características socioeconômicas e da atratividade da alternativa em questão em comparação a outras (Ortuzar e Willumsen, 2011; Senna, 2014). A atratividade das alternativas é representada pelo conceito de utilidade (satisfação)¹² (Senna, 2014) que, por sua vez, é derivada das características das alternativas e do indivíduo (Ortuzar e Willumsen, 2011). O conceito de utilidade aleatória (randômica) supera as limitações das duas tradicionais formas¹³ de usar a utilidade em um processo de escolha, mediante a inclusão de um termo (componente aleatório) associado ao erro na função (relativo a elementos que não foram observados, uma

¹² É dada pelo valor alocado por um indivíduo a um serviço, atributo e/ou produto (Senna, 2014). Ou seja, é o que o indivíduo busca maximizar (Ortuzar e Willumsen, 2011). Vista como um modo de descrever as preferências (Varian, 2012) e oriunda da Teoria do Consumidor (Ferguson, 1976), a utilidade só se torna significativa quando comparada com valores de outras opções. Esta medida quantitativa se formaliza através de uma função matemática chamada de função utilidade (Varian, 2012).

¹³ “Na primeira forma, a utilidade da alternativa i (U_i) é maior que a utilidade da alternativa j (U_j), escolhe-se a alternativa i . Pela segunda forma, calculam-se as probabilidades de escolha das alternativas i e j a partir de U_i e U_j de onde se conclui que o usuário escolheria a alternativa i com probabilidade P_i e alternativa j com probabilidade P_j ” (Senna, 2014, p. 48).

vez que os indivíduos levam em consideração fatores que não são percebidos pelo analista) (Senna, 2014).

2.2.1.2 O elo entre a intenção e a execução

É inegável que existem desconexões entre o que as pessoas dizem e fazem (Saunders et al., 2006; Sheeran, 2002). Alguns dos obstáculos à mudança de comportamento incluem: a direção e a força das atitudes; capacidades e/ou habilidades individuais insuficientes, normas sociais e crenças culturais; incentivos ou desincentivos; estruturas como leis, regulamentos e tecnologias; recursos e oportunidades; situações inesperadas; e contexto socioeconômico e político (Ajzen, 1985; Saunders et al., 2006; Sheeran, 2002). Desse modo, para compreender as ligações entre valores¹⁴, atitudes¹⁵ e comportamentos¹⁶ agroambientais de proprietários rurais, diversos modelos têm sido amplamente adotados por estudos em vários países, notadamente:

- (i) Teoria do comportamento planejado¹⁷ – argumenta que o comportamento social segue planos mais ou menos desenvolvidos. É uma expansão da teoria da ação racional, que traça as atitudes, as normas subjetivas e o controle comportamental percebido até uma base subjacente de crenças sobre o comportamento (Ajzen, 1991, 1985);
- (ii) Teoria da ação racional¹⁸ – representando um caso especial da teoria de comportamento planejado, esta teoria pode ser aplicada diretamente quando se trata de comportamentos puramente volitivos (aqueles causados por informações que foram ajustadas pelo sistema nervoso central), isto é, quando a probabilidade subjetiva de

¹⁴ Valores são geralmente definidos como crenças, que são cognições sobre a probabilidade de um objeto ou evento estar associado a um determinado atributo. Ou seja, representa a informação que a pessoa possui (Fishbein e Ajzen, 1975). Eles influenciam o pensamento e o comportamento em relação ao ambiente, indicando quais preferências devem ter prioridade (Saunders et al., 2006).

¹⁵ Atitude pode ser entendida como “uma disposição para reagir favoravelmente ou desfavoravelmente a uma classe de objetos” (Sarnoff, 1960, p. 261, tradução).

¹⁶ Comportamentos são tipicamente definidos como as ações evidentes de um indivíduo (Albarracin et al., 2005).

¹⁷ Exemplos de estudos que aplicaram a teoria do comportamento planejado: em análise dos processos de tomada de decisão dos agricultores em relação ao uso da terra na Coreia do Sul (Poppenborg e Koellner, 2013); em análise da intenção dos agricultores brasileiros em utilizar pastagens naturais melhoradas (Borges e Lansink, 2015); na explicação do comportamento de conservação dos agricultores na Inglaterra (Beedell e Rehman, 1999); na investigação de atitudes dos agricultores e sua participação em programa agroambiental na Escócia (Sutherland, 2010); na investigação de fatores psicossociais que infligem as intenções dos proprietários de terra em relação à conservação dos fragmentos florestais na Argentina (Mastrangelo et al., 2014); na investigação de fatores que estão associados à intenção dos agricultores de adotar medidas agroambientais não subsidiadas na Holanda (van Dijk et al., 2016); e na explicação das influências atitudinais e motivacionais dos agricultores na Austrália para participar de contratos de conservação (Greiner, 2015).

¹⁸ Uso da teoria da ação racional, por exemplo, na investigação de atitudes dos agricultores em relação à conservação na Inglaterra (Carr e Tait, 1991).

sucesso e o grau de controle sobre fatores internos e externos atingem seus valores máximos (Fishbein, 1980; Fishbein e Ajzen, 1975);

- (iii) Teoria do duplo interesse¹⁹ – orientada pela abordagem meta-econômica, essa estrutura teórica sugere que a motivação dos agricultores para adotar comportamentos de conservação é impulsionada por dois interesses concorrentes: a visão de administração do ambiente e de maximização dos lucros (Lynne, 2006); e
- (iv) Teoria da motivação de proteção²⁰ – um modelo de comportamento que aplica percepções e crenças baseadas em ameaças para tipicamente entender a adoção de comportamentos protetores. É um caso especial de um esquema teórico mais abrangente: as teorias do valor de expectativa (Rogers, 1983; 1975).

Esses modelos convergem para a proposta de que o preditor mais imediato e importante do comportamento de uma pessoa é a sua intenção²¹ de realizá-lo (Sheeran, 2002).

Na relação intenção-comportamento é possível discernir as fontes de consistências e inconsistências por meio da decomposição em uma matriz 2x2 que lista as atitudes favorável/positiva e não favorável/negativa, e os comportamentos subsequentes, executado e não executado (McBroom e Reed, 1992; Sheeran, 2002). De acordo com essa análise, a consistência entre intenção e comportamento pode ser atribuída a dois grupos de participantes: os com intenções positivas que subsequentemente atuaram e os com intenções negativas que não atuaram. As lacunas são atribuídas aos dois grupos de participantes que não agiram de acordo com as suas intenções declaradas (i.e., os com intenções positivas que não executaram e os participantes que executaram o comportamento apesar das intenções negativas de o fazer) (McBroom e Reed, 1992; Sheeran, 2002). No entanto, a falta de consistência entre as intenções e o comportamento se deve, principalmente, aos que não agem de acordo com suas intenções positivas (i.e., os que declaram fazer e não fazem) (Sheeran, 2002).

¹⁹ Usando fundamentos da teoria de duplo interesses para examinar a decisão de adoção de lavoura de conservação nos Estados Unidos (Sheeder e Lynne, 2011); analisar atitudes ambientais dos agricultores e examinar sua influência no uso atual das melhores práticas de gestão agrícola nos Estados Unidos (Thompson et al., 2015); e investigar o interesse de agricultores americanos na adoção de práticas de conservação para proteger a qualidade da água (Floress et al., 2017).

²⁰ A teoria da motivação de proteção foi utilizada, por exemplo: como base para a identificação dos principais determinantes do comportamento pró-ambiental dos agricultores sob a seca no Iran (Keshavarz e Karami, 2016); e para investigar a intenção de adaptação dos agricultores às alterações climáticas no Vietnã (Dang et al., 2014).

²¹ As intenções podem ser inferidas a partir das respostas dos participantes: "eu pretendo fazer X" ou "eu farei X" (Sheeran, 2002).

2.2.2 Panorama da regularização

Diagnosticar a situação de quem estava ou não cumprindo a legislação florestal pode ser considerada a ação mais elementar e necessária à identificação do estado de vegetação nativa dentro do imóvel rural (Pires e Ortega, 2013). Nesse sentido, a LPVN adotou o CAR, um instrumento obrigatório que fornece a radiografia digital dos imóveis rurais apontando, além do limite da propriedade, as feições ambientais e as de uso consolidado (Brasil, 2012; Pires e Ortega, 2013; Pires e Savian, 2016). A partir do cadastro é possível verificar a situação ambiental do imóvel rural (Figura 2.1), apontando a necessidade de regularização ou atestando a regularidade ambiental do imóvel (Brasil, 2012; MMA, 2014). Após o registro no CAR, nos imóveis rurais identificados com déficit de RL, deve-se adotar medidas para restaurar ou compensar a área de vegetação degradada (Brasil, 2012). Já nas áreas excedentes de vegetação nativa, poderão ser atribuídos usos alternativos ou sustentáveis, como a oferta para compensação do déficit ambiental em outro imóvel rural (Brasil, 2012).

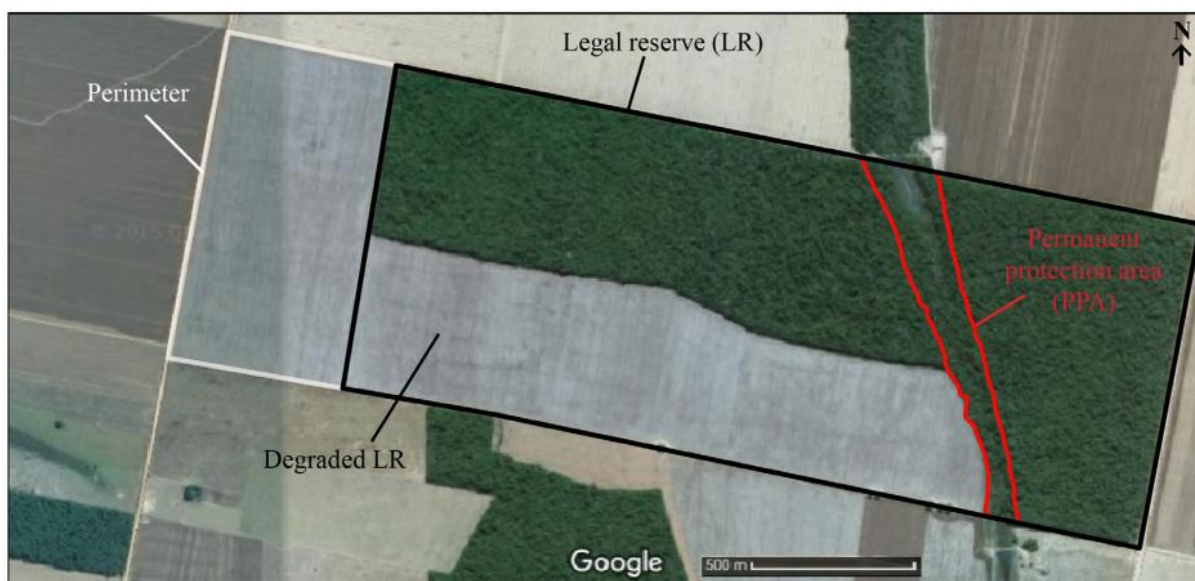


Figura 2.1. Exemplo de um imóvel rural registrado no Cadastro Ambiental Rural (CAR). Fonte: Azevedo et al. (2015).

A regularização da RL pode ser efetivada dentro ou fora do imóvel rural detentor do déficit. Para a regularização dentro do imóvel, aqui entendida como restauração, pode ser adotada: regeneração natural, que consiste no restabelecimento da vegetação nativa decorrente de processos naturais (Gama et al., 2002); e/ou recomposição, que implica restituir a vegetação nativa degradada à condição não degradada, podendo ser diferente de sua condição original

(Brasil, 2012). Já a regularização fora do imóvel (compensação) envolve aquisição de CRA (título de vegetação nativa), arrendamento de área sob regime de servidão ambiental ou RL, doação ao Poder Público de área localizada no interior de UC de domínio público pendente de regularização fundiária e/ou cadastramento de outra área equivalente e excedente à RL em imóvel de mesma titularidade ou adquirida em imóvel de terceiro (Brasil, 2012).

Em termos legais, a regularização da RL depende da condição do desmatamento. Se a área foi consolidada até 22 de julho de 2008, o proprietário rural poderá utilizar qualquer uma das alternativas (Brasil, 2012, art. 66, incisos I, II e III). Caso contrário, não é permitida a compensação (Brasil, 2012, § 3º e 4º). Na modalidade de restauração, além do custo de deixar de produzir na área já consolidada, principalmente em terras agrícolas (Campos e Bacha, 2013; Stickler et al., 2013), apresenta alto custo de implantação (Nunes et al., 2017; Silva e Nunes, 2017). Logo, é mais provável que os proprietários de terras com alta rentabilidade compensem seus déficits de RL em vez de restaurar (Freitas et al., 2017; Soares-Filho et al., 2016), uma vez que a compra de direitos de desmatamento de outras propriedades para compensar o déficit de RL reduziria os custos de oportunidade (Soares-Filho et al., 2016; Stickler et al., 2013) e a compensação apresenta grande potencial para negociação (Bernasconi et al., 2016; Brito, 2017; Freitas et al., 2017; Nunes et al., 2016; Soares-Filho et al., 2016).

Apesar dos benefícios da restauração no restabelecimento dos processos naturais (Ditt et al., 2010), essa modalidade praticamente não recebeu adesões antes da reforma do novo CF em 2012 (Irigaray, 2007; Trevisan et al., 2016). A aquisição de outra área, seja para mantê-la em nome próprio ou para doá-la ao Poder Público tende a ser a opção preferida pelos produtores rurais (Freitas et al., 2017; Irigaray, 2007; Soares-Filho et al., 2016). Todavia, a compensação também recebeu poucas adesões, além de baixo incentivo (Irigaray, 2007). Esse cenário requer investigações para que se conheça as intenções que podem induzir o comportamento dos produtores rurais. Assim, esta pesquisa poderá contribuir com a literatura e a gestão ambiental em propriedades privadas de duas formas: perspectiva e metodologicamente. Uma vez que (i) a exploração dos interesses declarados sobre a adoção de medidas de regularização do déficit ou uso do excedente de vegetação nativa e (ii) a demonstração das técnicas empregadas e sua aplicabilidade para analisar o principal instrumento de monitoramento e conservação ambiental, amplia o conhecimento atual e auxilia as estratégias de implementação da LPVN, sobretudo, na validação do CAR, na efetivação do PRA e na difusão da CRA. Pois além de apontar direcionamentos às ações governamentais com meios de avaliação dos dados declarados, indica perfil de produtores rurais com maior/menor resistência provável ao processo de regularização ou conservação ambiental.

3 SITUAÇÃO DO CADASTRO AMBIENTAL RURAL

O Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR) possui um módulo de cadastro com três opções de registros, a saber: imóvel rural, imóvel rural de povos e comunidades tradicionais e imóvel rural de assentamentos da reforma agrária²² (SFB, 2016). A primeira opção é constituída por seis etapas para preenchimento: cadastrante, imóvel, domínio, documentação, geo e informações (SFB, 2016). Na etapa “geo”, o cadastrante realiza a demarcação (vetorização) da área do imóvel e das demais áreas internas. Na etapa “informações” responde a um questionário sobre a regularidade ambiental do imóvel (SFB, 2016).

Por um período, o SFB disponibilizou regularmente boletins informativos sobre o andamento do CAR por região e estado com o número de cadastros, área cadastrada e outros. A última publicação apresentou dados de até 31 de janeiro de 2020, uma edição especial com extrato por biomas em que 6,5 milhões de imóveis rurais já haviam sido cadastrados, totalizando uma área de ≈543 Mha inseridos no sistema (SFB, 2020a). Nos estados do Pará e Mato Grosso, após 4,7 anos do primeiro boletim publicado em abril de 2015, o número total de imóveis registros ampliou em cerca de 217 e 233%, respectivamente (Figura 3.1). O avanço do CAR é resultado de um esforço conjunto entre os governos federal, estaduais e municipais, ministério público, sociedade civil e mercados que implantarem medidas para auxiliar e induzir a adesão dos produtores rurais (Pires e Ortega, 2013). Por exemplo, termo de compromisso assinado por frigoríficos e *traders* de soja (Gibbs et al., 2016), investimentos do Fundo Amazônia e apoio de ONGs (Roitman et al., 2018), exigência de CAR para emissão da guia de transporte animal (GTA) no Pará (SEMAS/PA, 2014), engajamento de prefeituras municipais e sindicatos rurais (Pires e Ortega, 2013).

Ao longo dos anos, o Observatório do Código Florestal (OCF) e instituições parceiras, acompanharam a implementação do CAR, avaliando um conjunto de indicadores relacionados aos aspectos institucionais, sistemas de informação e geotecnologias, métodos de registro e análise das informações, estratégias de comunicação e mobilização para o cadastramento (Pires e Savian, 2016; Valdiones e Bernasconi, 2019). Em geral, os relatórios demonstraram

²² A primeira opção (IRU) é para os possuidores de propriedades em zonas rurais. A segunda (PCT), para os grupos que usam/ocupam territórios tradicionais e recursos naturais como condição para sua reprodução cultural, social, religiosa, ancestral e econômica (e.g., indígenas, quilombolas, extrativistas, ribeirinhos). E a outra opção (AST) é para possuidores de imóvel pertencente aos assentamentos instituídos por órgãos federais, estaduais e municipais (SFB, 2016).

limitações infraestruturais e desafios no processo de análise e validação dos dados declarados para verificar sobreposições e omissões (Pires e Savian, 2016; Valdiones e Bernasconi, 2019).

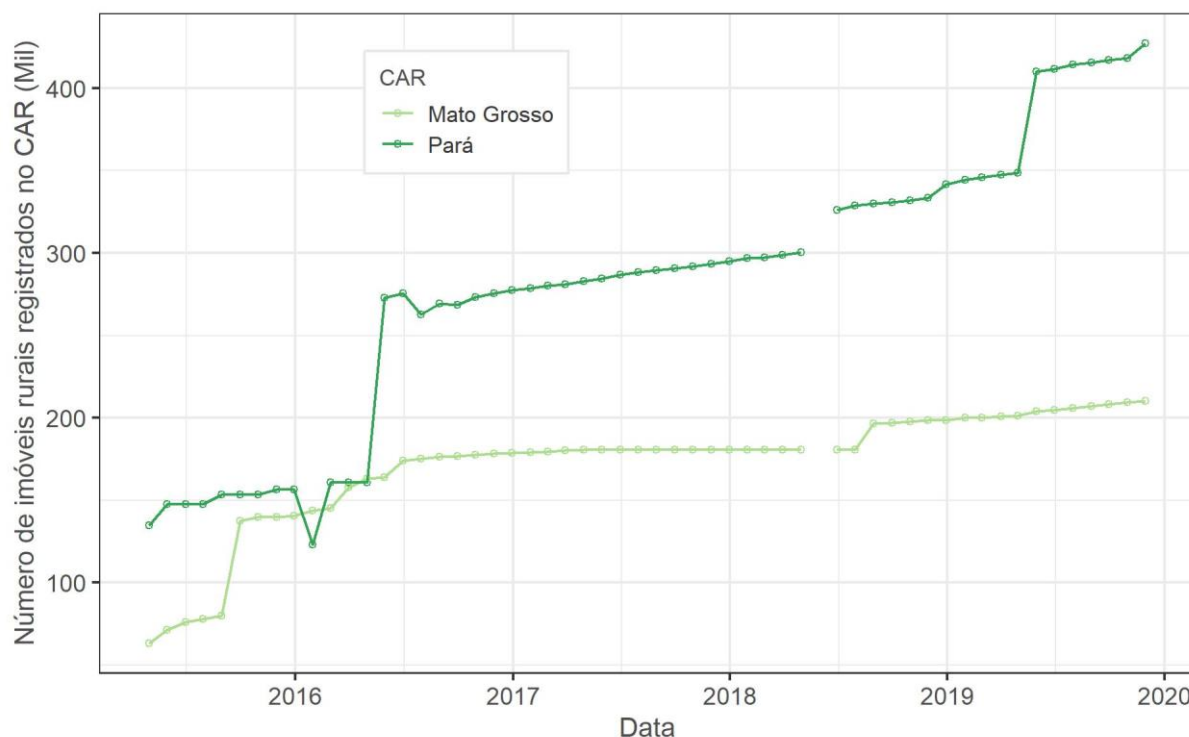


Figura 3.1. Linha do tempo do número de imóveis rurais registrados no Cadastro Ambiental Rural (CAR) nos estados do Pará e Mato Grosso. Elaboração com base nos boletins informativos de abril de 2015 a novembro de 2019 disponibilizados pelo Serviço Florestal Brasileiro (SFB). A descontinuidade nas linhas do gráfico representa o mês sem publicação. O boletim apresenta o extrato dos dados inseridos no SICAR, podendo diferir da base de dados disponível para download.

Embora o CAR tenha surgido com as premissas de controle do desmatamento, atribuição de responsabilidade aos infratores, regularização e monitoramento das propriedades (Azevedo et al., 2014; Rajão et al., 2012), ele não tem sido muito efetivo. Alguns estudos revelam que a existência do CAR teve pouco efeito ou não necessariamente reduziu a conversão de áreas de vegetação nativa para usos alternativos (Alix-Garcia et al., 2018; Azevedo et al., 2017; Costa et al., 2018; L’Roe et al., 2016). Outros identificaram inconsistências nos limites dos imóveis (Brito, 2017; da Cruz et al., 2020; Freitas et al., 2018; Hissa et al., 2019; L’Roe et al., 2016; Laudares et al., 2014; Roitman et al., 2018).

Na regularização ambiental dos imóveis rurais, alguns estados já iniciaram a análise dos cadastros (SFB, 2018), mas ainda existe um longo caminho para avaliar todos os dados declarados, podendo ser considerados ativo, pendente, suspenso ou cancelado (MMA, 2014; SEMA/MT, 2015, 2017; SFB, 2019a). Nesse sentido, o SFB em parceria com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) apresentaram às secretarias estaduais e

institutos de meio ambiente uma plataforma para análise dinamizada que visa acelerar a revisão das informações que foram declaradas no CAR e verificar a situação das áreas de conservação e uso restrito (APP, RL, etc.) (SFB, 2020b). A proposta se apresenta como potencial para ganho de escala na análise dos cadastros, tendo vista a morosidade da análise manual, e maior segurança jurídica (SFB, 2020b). Mas depende da implementação nos estados, além do retorno dos produtores rurais para a correção das sobreposições e validação. Assim, o artigo a seguir analisa as pendências de sobreposição do CAR e avalia a qualidade dos cadastros.

Validating Rural Environmental Registry (CAR) In Brazil: an assessment of the quality of registries in eastern Amazon

Rayane Pacheco, Raoni Rajão, Marcelo A. Costa and Britaldo Soares-Filho

Submitted to Land Use Policy on September 19, 2019

Abstract

The enrolment at the Rural Environmental Registry (CAR) where single landowners define the boundaries and environmental features of their farms, is the first step of environmental regulation of rural properties. But since this registry is declaratory it still needs to be validated before the forest restoration and or compensation can take place. In this article, we evaluate the quality of CAR to assess the size of the challenge that lies ahead. With this purpose we analyzed each individual CAR registry in the states of Pará and Mato Grosso in relation to four indicators: (i) overlap between CAR registries; (ii) comparison of CAR and land cadaster data; (iii) convergence between the native vegetation declared and observed via remote sensing; and (iv) recognition of the deficit and surplus of Legal Reserve (LR) in relation to the estimates calculated via spatial modelling of declared data. Despite the existence of critical areas, the majority of the CAR registries analyzed indicated high (58% | 102,143) or very high quality (13% | 22,230), most of which could be validated automatically since they fall within the tolerance-levels set by the legislation. Our analysis also shows that by concentrating the validation efforts on the 16,241 CAR from medium and large properties with the overlap issues above the tolerance level, it would be possible to validate 18.9 Mha, representing 89% of the registered area with that cannot be validated automatically. The article also analyzes the main factors behind CAR inconsistencies with a multiple linear regression that considered social, economic and environmental variables. From this analysis it emerged that the quality of CAR registries is higher in properties bought from private individuals, grow crops and is headed by woman. The municipalities with higher human development indexes that have received the support of NGOs in the implementation of the registry also have higher quality CAR. In contrast, municipalities with higher deforestation rates, rural conflicts, death threats and lower education levels tend to have CAR registries with lower quality and that will take longer to be corrected and validated. These results suggest that the process of validating and implementing the Native Vegetation Protection Law (NVPL) involve not only environmental issues, but also

problems related to social inequality and rural violence, and that NGOs could play an important role in ensuring the success of the implementation of the NVPL in Brazil.

Keywords: Brazil, rural properties, Forest Code, rural registry analysis.

3.1 Introduction

Since the establishment of the Brazilian Forest Code in 1934, individual farmers had to follow specific conservation practices at pre-defined portions of their properties. As such, this and the subsequent changes to the law in 1965 and 2012 implied the monitoring of native vegetation at property-level. Thus, the low level of compliance to the Forest Code can be partially attributed to the difficulties of inspecting *in situ* all farms in a country of continental proportions. The creation of different geographic information systems with farm-level data coupled with satellite-based remote sensing data from the late 1990s onwards opened a new era for environmental law enforcement in Brazil. Inspired by state-level initiatives in Pará and Mato Grosso, the Native Vegetation Protection Law (NVPL) approved in 2012 (Law 12,651/2012) included the mandatory enrolment of all farms in Brazil at the Rural Environmental Registry (CAR) (Azevedo et al., 2014; Pires and Ortega, 2013; Rajão et al., 2012).

CAR consists of a set of georeferenced data related to the individual rural properties. In addition to containing the personal information of the landowner (crucial for law enforcement), CAR also provides georeferenced information on the: consolidated areas (deforested prior to 2008), Permanent Preservation Areas (PPAs) that include riparian forests and hilltops, Legal Reserve (LR) of the native vegetation in a percentage of the property (20-80%), areas of restricted use, remaining vegetation and other geographic features such as the presence of mountain tops, rivers and water springs (Brasil, 2012; Pires and Ortega, 2013). The CAR is an important tool for environmental regulation of rural properties since it will allow the diagnosis and monitoring of the environmental deficit/surplus (area of native vegetation smaller/larger than the legal requirement); and it is considered the first stage of such process (Brasil, 2012). CAR registry process can be considered a success since it managed to enroll about 6.5 million rural properties country-wide, covering an area of more than 543 Mha (SFB, 2020a). After several extensions of CAR's enrolment deadline, in June 2018 there were still many gaps in the registry (Pinto et al., 2018). These empty areas are probably due to the resistance of some farmers that would avoid prosecution, but may also due to the lack of

resources in very poor areas (Amazônia, 2016; Verdélio, 2015). An estimate showed that about 181 Mha of registerable area had not yet been registered (Pinto et al., 2018).

The next challenges for the implementation of CAR are the analysis and validation of the registries by the state government. Since the information included in CAR submitted by the landowners is self-declaratory, the government needs to check the registrations to avoid fraud and inconsistencies in order to enforce the legislation. For instance, two farmers could declare the same forest area as part of their Legal Reserves, thus falsely reducing the conservation obligations of at least one of them. Furthermore, if that same area is illegally deforested the question of environmental responsibility over the area will also arise (Hissa et al., 2019; Roitman et al., 2018; Valdiones and Bernasconi, 2019). For this reason, L’Roe et al. (2016) argue that ‘the value of the CAR for forest conservation depends primarily on the usefulness of the data for future implementation of environmental regulations’ and to ensure the correct monitoring of deforestation (ibid., p. 202).

In order to validate CAR, states should detect inconsistencies related to overlap with other rural properties, protected areas (conservation units and indigenous lands) and areas embargoed by the Brazilian Institute of Environment and Renewable Natural Resources (IBAMA). In addition to that, state governments are expected to verify if the declared features (vegetation area, rivers, etc.) correspond to the reality via on-site verification or remote sensing data (MMA, 2014; SFB, 2017a). So far, many states still have several challenges, such as the establishment of norms with analytical procedures and rules, the increase in institutional capacity (human, technological and infrastructure resources), the acquisition of reference bases (hydrography, consolidated use, etc.) and the definition of a validation strategy (Valdiones and Bernasconi, 2019). Pará and Mato Grosso are two of the most advanced states in the validation of CAR as they have already established detailed regulations and procedures for the CAR and PRA, and have started the analysis. In addition, Mato Grosso has recently expanded the technical team of analysis by hiring 50 new technical staff (OCF, 2019; Valdiones and Bernasconi, 2019). Still, only 13% (\approx 635 thousand) of rural properties were analyzed throughout the country, of which 13.6% are located in Pará and 0.4% in Mato Grosso (SFB, 2019b). But even amongst the analyzed CAR registries, it is not clear how many were successfully validated after all inconsistencies have been pointed out by the state government and eventually solved by the landowners.

Due to the importance of CAR for the implementation of the NVPL, the registry has been the focus of a growing number of studies (Azevedo et al., 2017, 2015; Costa et al., 2018; L’Roe et al., 2016; Nunes et al., 2016; Oliveira and Brugnara, 2018; Rajão et al., 2012; Richards

and VanWey, 2016). Several studies have used the CAR to evaluate its effect on deforestation, the compliance level of farms with the NVPL, the deforestation-free soy and beef supply chains agreements, land tenure, carbon stocks and forest trade to offset LR deficit (Azevedo et al., 2017, 2015, 2014; Brito, 2017, 2020; Costa et al., 2018; da Cruz et al., 2020; Freitas et al., 2017, 2018; Gibbs et al., 2016, 2015; Hissa et al., 2019; L'Roe et al., 2016; Nunes et al., 2016; Richards and VanWey, 2016; Sparovek et al., 2019). However, the evaluation of the information registered in the CAR is still a subject little explored in the literature. The registration reports show that CAR numbers already exceed 100% of the area registered in three regions (North, South and Southeast) of Brazil (SFB, 2019a). This means that the area registered in the system is larger than the estimated registrable area, suggesting that there are overlaps in the registries despite the gaps. Some studies have also gone beyond and analyzed the quality of the information contained by CAR. These studies have found that a substantial number of registries of private properties had overlaps with indigenous lands and conservation unities, indicating an underlying land conflict and possible attempts of land grabbing (Oliveira and Brugnara, 2018; Roitman et al., 2018). A similar drive for land acquisition was also noticed by L'Roe et al. (2016), as an abnormal number of properties have a propensity to stack just below certain size thresholds (e.g. 25, 50, 100, etc.) in order to benefit from tenure regularization programs.

In the states of Pará and Mato Grosso, studies have already found a substantial amount of overlap in CAR (L'Roe et al., 2016; Roitman et al., 2018). According to the authors, about 27.5% (27,991) of the registries evaluated overlap in more than 5% and less than 95% of the area of properties in Pará; i.e. they are not corresponding to small mapping errors or duplication of registries (L'Roe et al., 2016). In Mato Grosso, it was identified that approximately 10.2% of the more than 109 thousand registrations analyzed presented overlap (Roitman et al., 2018). Other studies using the CAR database for analysis not directly involving its evaluation also found registries overlapping many other properties. Thus, they adopted criteria to remove inconsistencies, such as removal of triangular or circular shaped polygons, all polygons with more than 5% overlap with conservation territories and/or other properties, and polygons that overlap with many smaller ones (Brito, 2017; da Cruz et al., 2020; Freitas et al., 2018; Nunes et al., 2016). Yet, so far, no study has considered the challenges specifically related to the validation of CAR by the state governments necessary for the implementation of the NVPL, and the social, economic and environmental aspects that help to explain the differences in CAR quality across different areas and property sizes.

In this article, we contribute to this ongoing debate by evaluating the quality of CAR in the states of Pará and Mato Grosso in relation to four indicators: (i) overlap between CAR registries; (ii) comparison of CAR and land cadaster data; (iii) convergence between the native vegetation declared and observed via remote sensing; and (iv) recognition of the deficit and surplus of LR in relation to the estimates calculated via spatial modelling of declared data. The article has then analyzed the main drivers of CAR inconsistencies with a multiple linear regression that considered social, economic and environmental factors. The remaining of this article is organized as follows. The next section presents the methodology adopted in this study and provides a brief introduction to the study area, data collection, analysis and CAR quality indicators.

3.2 Methods

3.2.1 Study area and data collection

Pará and Mato Grosso are located in the Brazilian Amazon. Both states have a large territorial extension (2,151,158 km²) covering approximately a quarter of the country with 144 and 141 municipalities, respectively (IBGE, 2018). This area was chosen because CAR has emerged in this region and later served as a model for national expansion (Azevedo et al., 2014; Pires and Ortega, 2013; Rajão et al., 2012).

The main data used in the CAR quality assessment were: (i) limits of rural properties in the SICAR database until August 2018 – 198,860 registries in Pará and 129,697 in Mato Grosso (SFB, 2018); (ii) 44,043 private rural properties certified by the Land Management System (SIGEF) (INCRA, 2018a); (iii) evaluation of native vegetation at the property level estimated by Soares-Filho et al. (2017); and (iv) statement of LR deficit/surplus in the CAR's questionnaire (SFB, 2017b). The first dataset was obtained from a shapefile format in SIRGAS 2000 datum and geographic coordinates, available in the 'CAR public consultation module' operated by the Brazilian Forest Service (SFB). The second dataset comprises parcels of private rural property registered in SIGEF, available in the land collection of the National Institute of Colonization and Agrarian Reform (INCRA), also in shapefile format.

The third dataset comprises the estimates of deficit and surplus of LR of rural properties according to the area of native vegetation declared in the CAR and with secondary data of native vegetation observed by TerraClass and PRODES, two satellite-based remote

sensing systems from INPE (Brazilian National Institute for Space Research). The estimates LR deficit and surplus were calculated using a spatially explicit model at a 30 meters resolution (Rajão et al., 2018; Soares-Filho et al., 2014). Finally, the survey data are categorical (yes, no) regarding the existence of LR deficit/surplus, acquired in partnership with SFB. Observations from interviews with farmers in Pará and Mato Grosso collected by Pacheco et al. (2017) were also used to get some insight and discuss farmers' perceptions of the LR deficit.

3.2.2 Data analysis

Before analyzing CAR overlaps, all CAR with duplicated registration codes were removed in order to enable its use as the database primary key. In addition, all registrations classified as 'canceled by administrative or judicial decision' were removed (Table S3.1); as well as those located in areas of rural settlements, indigenous lands and *quilombolas* according to the data provided by the INCRA and FUNAI (National Indian Foundation); and the CAR registered like PCT (CAR of traditional communities) and AST (CAR of rural settlements) along with its internal registries (Figure S3.1). This removal reduced the number of samples to 224,136 registrations corresponding to 68% of the database acquired (Table S3.2). Datasets were analyzed using ArcGIS 10.4.1 (Esri, 2015) and R (R Core Team, 2018) projected to Albers and SAD69 datum.

We adopted the rural property size classification defined by the Brazilian legislation (Law 8,629/1993). First, it was calculated the size of all individual farms in fiscal modules (FM), a unit of measure in hectares set by INCRA for each municipality. In the state of Pará, the fiscal module varies from 5 to 75 hectares and in Mato Grosso from 22 to 100 hectares (INCRA, 2013). Then, the properties were classified as small (up to 4 FM), medium (4-15 FM) and large properties (>15 FM). On the hand, this classification creates inconsistencies across the dataset since one property with 400 ha could be classified as a large property in one municipality and as a small property in another. On the other hand, it is important to adopt this official classification system, since all obligation (e.g. LR and riparian forests) and rights (e.g. government assistance for registration at CAR and special bank loans) are attributed based on this scheme. That is also why this classification has been widely adopted by studies involving CAR (Azevedo et al., 2017; Costa et al., 2018; L'Roe et al., 2016).

3.2.2.1 CAR quality indicators

Considering the legal requirements for a valid registry at CAR, this article proposed four indicators to assess the quality of CAR:

- a) *CAR overlap* – this indicator analyzed the degree of overlap between rural properties in the CAR, that is, the ratio of the area of a rural property intersected by one or more properties in relation to its area. The overlaps between two or more polygons were identified and calculated. Mato Grosso state has a normative that guides the procedures of analysis and validation of the CAR that establishes a tolerance level for the overlaps depending on the property size and the status of the overlapped area (SEMA/MT, 2015). The agency responsible for the CAR at the federal level (the Brazilian Forest Service) also points out situations where the CAR is pending (SFB, 2017a). Although in the state of Pará, the tolerance limit for overlap analysis between rural properties is 5% defined before SICAR (SEMAS/PA, 2011a, 2011b), in this study we used the percentages established in SICAR. Thus, a CAR registry is considered ‘pending’ if the property registered presents one or more cases of total or partial overlap with: (i) other properties registered in the CAR (overlap greater than 10, 4 and 3% for small, medium and large properties, respectively); (ii) conservation units (UCs) in the database of the national registry (the overlaps with CAR and UCs also allow the same tolerance level mentioned above); (iii) homologated indigenous lands listed in the FUNAI database; and (iv) embargoed areas in the IBAMA embargo system (SEMA/MT, 2015; SFB, 2017a). While recognizing the other types of overlaps, this study considered only the CAR overlap between rural properties, thus assigning discrete values 0 and 1 for the CAR registries classified as ‘pending’ and ‘not pending’, respectively (Figure 3.2).

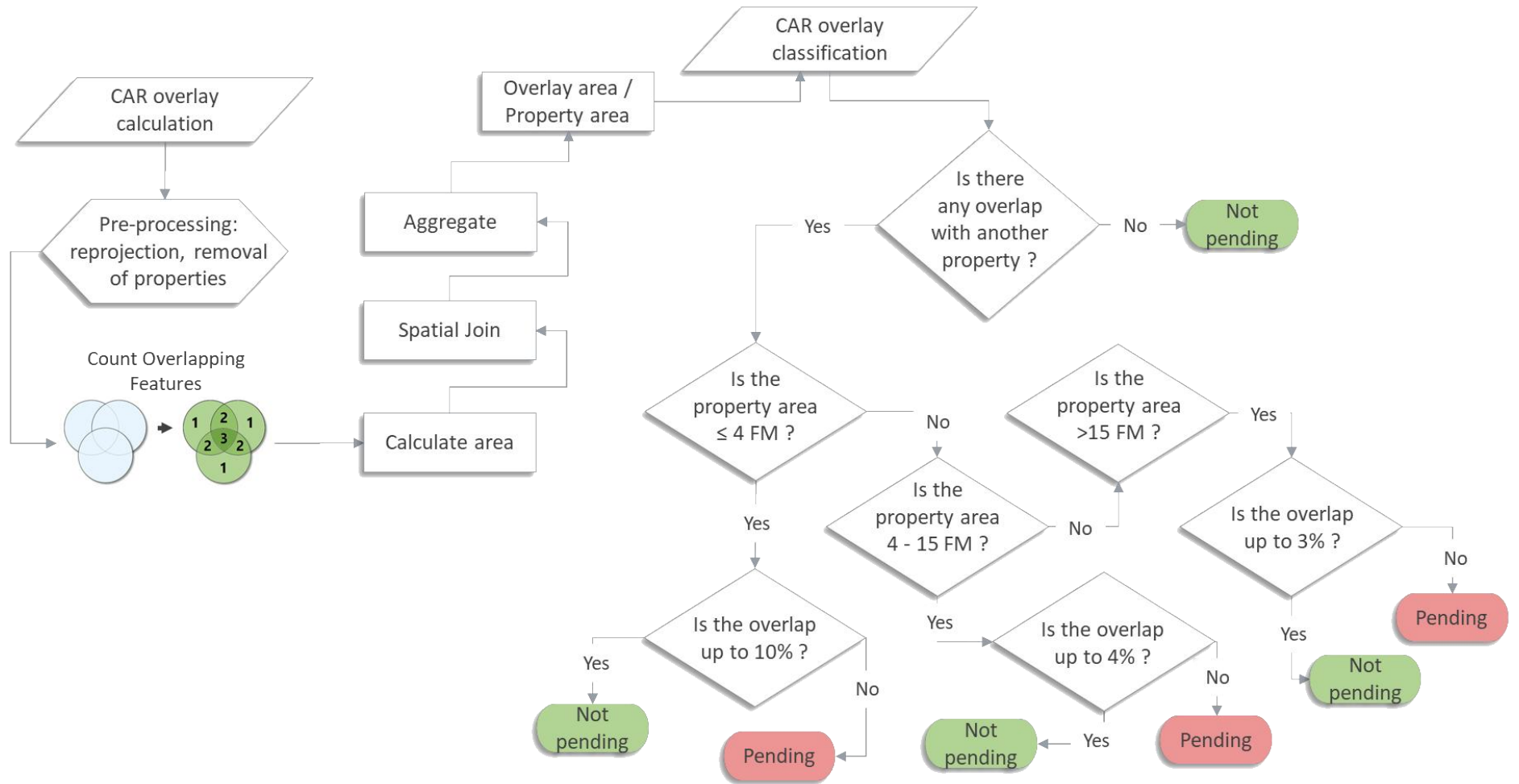


Figure 3.2. Summary of the steps applied to calculate the CAR overlaps and pending classification. FM – Fiscal Module.

- b) *CAR vs. INCRA* – provides an estimate of the coherence of CAR (that is an environmental management instrument) with the official land tenure system from INCRA. INCRA²³ created the SIGEF²⁴ in 2013 for land information management. The information about certified rural properties of INCRA is more accurate than other registries since it demands more stringent standards for georeferencing rural properties. The CAR is self-declaratory and was created to assist the environmental regularization of rural properties in Brazil (Brasil, 2012) and as such it does not require precision when delimiting the property area. Therefore, it is expected that the CAR will not be geospatially accurate, but present medium to a high degree of similarity. It was noticed, however, that many farm owners rather than registering a CAR area with the same size and shape of their INCRA registry, have chosen to ‘partition’ their farms into smaller parcels in order to obtain environmental benefits reserved to small properties. This probable subdivision of the CAR has also been pointed out by (L’Roe et al., 2016). In order to capture this problem as well as land conflicts expressed as multiple CAR registries, it was calculated a quality indicator based on the number of CAR registries found inside the same INCRA registry. Therefore, each CAR was assigned the values 1 if it was only one registry within the same INCRA or if there was no land tenure data available, and 0 if more than one CAR fell inside the same INCRA registry.
- c) *Convergence between declared and observed data* – this indicator compared the area of native vegetation declared in the CAR and the area observed via satellite-based remote sensing systems from the Brazilian National Institute for Space Research (Soares-Filho et al., 2017). For each CAR registry, it was checked whether the difference between the declared and observed data for small, medium and large properties was higher than 10, 4 and 3%, respectively. As in the indicator defined above, a value of 0 was attributed to a CAR found incoherent and 1 if the difference fell within the tolerance levels established above.

²³ INCRA is a federal agency created in 1970, whose primary mission is to carry out agrarian reform and national land tenure (Brasil, 1970). The certification of rural properties carried out by INCRA insures that the limits of the rural properties do not overlap with others and that the accomplishment of the georeferencing obeyed legal technical specifications (Brasil, 2001). Through its land assets, the Institute makes available to anyone via the internet access to georeferenced maps and data, among others, those of rural properties certified by the Land Management System (SIGEF) (INCRA, n.d.a).

²⁴ This electronic tool receive, validates, organizes and make information about the georeferenced information of limits of rural properties available (INCRA, n.d.b).

- d) *Recognition of the deficit and surplus of LR* – the last indicator evaluated the answers given by the rural producers in the CAR's questionnaire. In addition to providing geospatial data concerning the properties' boundaries and features (i.e. rivers, land cover, etc.), landowners are also asked to answer a questionnaire that aims to understand his/her self-understanding and preferences in relation to the different options for environmental regularization. This study considers the following questions: (1) Does the rural property have a deficit of LR? and (2) Does the rural property have LR surplus (deforestable surplus)? When the deficit or surplus declared by the farmer coincides with the estimates from (Soares-Filho et al., 2017) based on declared vegetation in the CAR, this given to the CAR a value of 1 otherwise, it the registry is considered incoherent in this regard and the indicator is marked as 0.

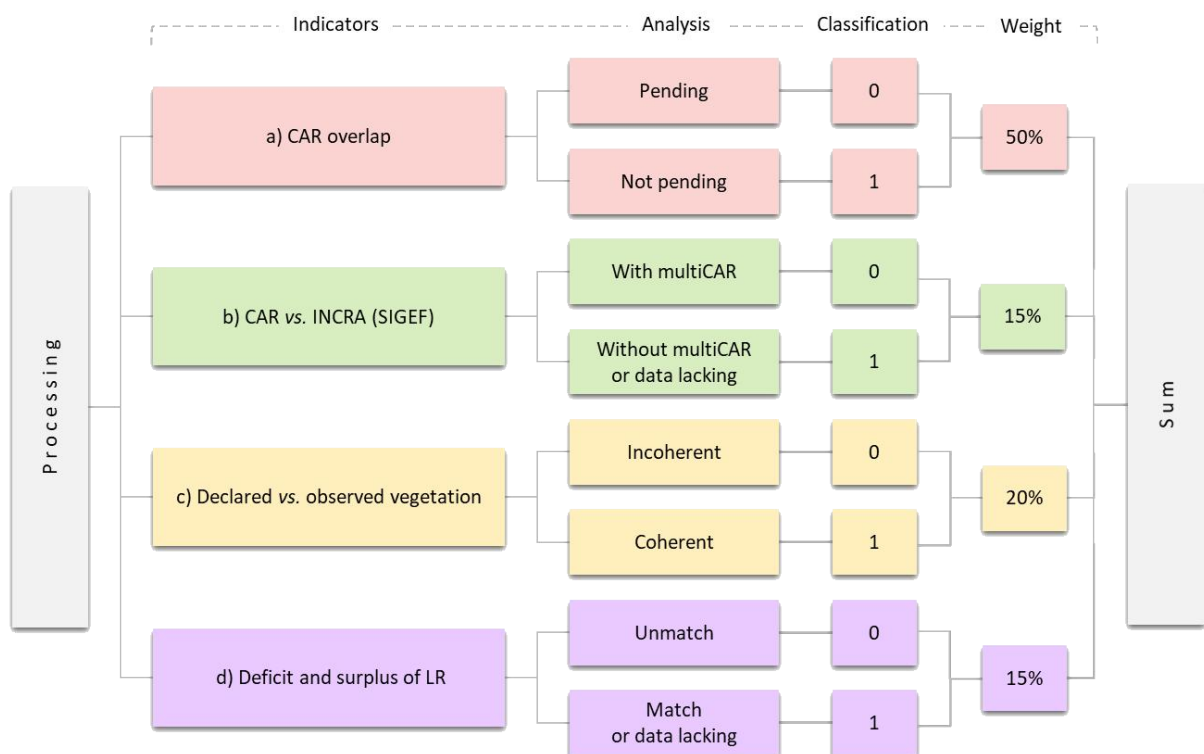


Figure 3.3. Summary of the indicators adopted to assess the quality of the CAR.

The result of the four quality indicators described above was combined in order to constitute an overall quality index (Figure 3.3). Since the overlap between CAR registries is considered one of the most pressing problems concerning the validation process and this is or will be considered for analysis in all states, this quality indicator represented 50% of the overall weight of the quality index of each CAR. The coherence between declared and observed land

cover data represented another 20% of the index²⁵ and the coherence between CAR and INCRA and between the recognition of LR deficit and surplus represented the remaining 15% each²⁶. As the data to calculate the four quality indicators was not available for the entire CAR dataset, it was possible to calculate the quality of CAR 176,468 individual registries, representing 79% of the total. In order to visualize the results, the registries were categorized into five levels of quality: (i) very high – index from 0.8 to 1 representing situations where there are no substantial overlaps and there is a positive result in at least 2 out of the remaining 3 quality indicators; (ii) high – index from 0.6 to 0.8, also indicating situations of no significant overlap and coherence of at least 1 out of 3 quality indicators; (iii) regular – index from 0.4 to 0.6, representing a CAR registry with no overlap and issues related to the other quality indicators or positive results in all indicators but with significant overlaps; (iv) low – index from 0.2 to 0.4; and (v) very low – index up to 0.2. To display the quality of the CAR by municipality, the following aggregation was considered:

$$QCAR = \sum_{i=1}^n \left(\frac{NM_{ij}}{NCAR_j} * P_i \right) \quad (1)$$

where $QCAR$ is the CAR quality per municipality that can range from 0 to 1 (very low to very high), i represents the indicators ($i = 1, \dots, n$), NM is the number of registries that match the criteria of the indicator i in municipality j ($j = 1, \dots, n$), $NCAR$ is the total number of registries analyzed in municipality j and P represents the weight of the indicator i .

3.2.2.2 Understanding the CAR quality: the statistical model

An ordinary least squares (OLS) regression model was used to identify possible factors (predictors) that influence the CAR quality in the properties, given a set of variables. The following model is proposed:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \dots + \beta_p x_{pi} + \varepsilon_i \quad (2)$$

²⁵ This indicator received the second highest weight because the vegetation declared deserve attention since it is important information in the register and, perhaps, it can be used by environmental agencies in the regularization process.

²⁶ Here the lowest weights because INCRA data does not cover all Brazilian private areas, only part of the properties are registered as we can see in Sparovek et al. (2019). In addition, the CAR registered before the data migrated from state level (which did not have the CAR's questionnaire) to the national model do not have declarations about LR deficit and surplus.

where Y_i is a continuous random variable representing the CAR quality of property i ($i = 1, \dots, n$), x_{1i}, \dots, x_{pi} are the predictor variables described in Table S3.3 and ε_i is the error component normally distributed with mean of zero and variance σ^2 . It is worth mentioning that the observed minimum value of Y_i is zero, indicating total incoherence in the quality indicators analyzed. The maximum value of Y_i is one, indicating a complete coherence of the CAR in i property in all four indicators (CAR overlap, CAR vs. INCRA, vegetation declared vs. observed and LR deficit/surplus recognition).

In order to evaluate differences among the estimated parameters for each property size group (small, medium and large), a regression model was fitted separately for each one. In addition, logistic classification models were used to identify the signal (+ or -) of the main predictors in the individual indicators, in which the dependent variable (response) was the indicator classification. The predictor or explanatory variables (Table S3.3) were obtained at the municipality level (except the property area). Their values were assigned to the registries according to the municipality of the CAR registry. The best models were selected by AIC (Akaike Information Criterion) in a stepwise algorithm.

3.3 Results

3.3.1 Quality of CAR

The majority of the CAR registries analyzed indicated high (58% | 102,143) or very high quality (13% | 22,230). At the municipal level, about 83 and 73% (120 and 93) of the municipalities in the states of Pará and Mato Grosso have on average a high CAR quality, respectively, and 2% (6) had a very high quality (Figure 3.4). The latter are the municipalities of Feliz Natal, Pontes e Lacerda, Vale de São Domingos, Alto Araguaia e Itiquira, all in Mato Grosso, and Afuá in Pará. The other municipalities analyzed (19% | 50) presented CAR with, on average, regular quality. Most of these lower quality CARs was found in Mato Grosso. Considering the registrations analyzed, no municipality had an average of very low-quality CAR (Figure 3.4).

Across the four quality indicators, the convergence between the vegetation declared and observed via remote sensing received the lowest score on average. Only 20% of the registrations were found coherent in relation to this indicator, while in the other indicators, more than 70% of the registrations were found coherent. This result suggests that the issues related

to the CAR overlaps, recognition of deficit and coherence with INCRA land tenure are likely to be less prominent than the inconsistency between the land cover declared by farmers and the one observed via remote sensing.

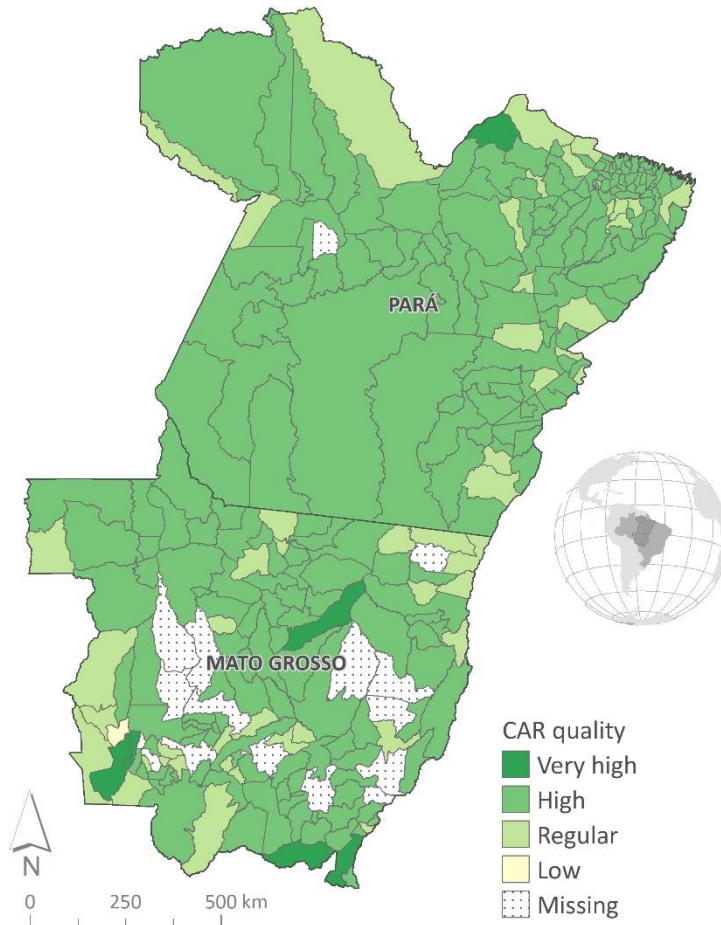


Figure 3.4. Quality of CAR in the states of Pará and Mato Grosso. Missing – municipalities with data not available and/or not evaluated.

3.3.1.1 CAR overlap

A total of 82% (183,397) of the CAR analyzed have some level of overlap, adding an area of approximately 21.7 Mha (21% of the registered area). To illustrate the overlaps found in the CAR, five different situations are exemplified in Figure 3.5: (i) little – situation where the boundaries of registries intersect their neighbors up to 10, 4 and 3% of areas in small, medium and large properties, respectively; (ii) total – registration with the total area inside another larger registration; (iii) unique partial – example of registration with part of the area overlapped by another; (iv) multiple – total or partial overlap involving many registries; (v)

multiple partial – case of registration with partial area overlapped by other registrations; and (iv) identical – registries with similar location, shape and area.

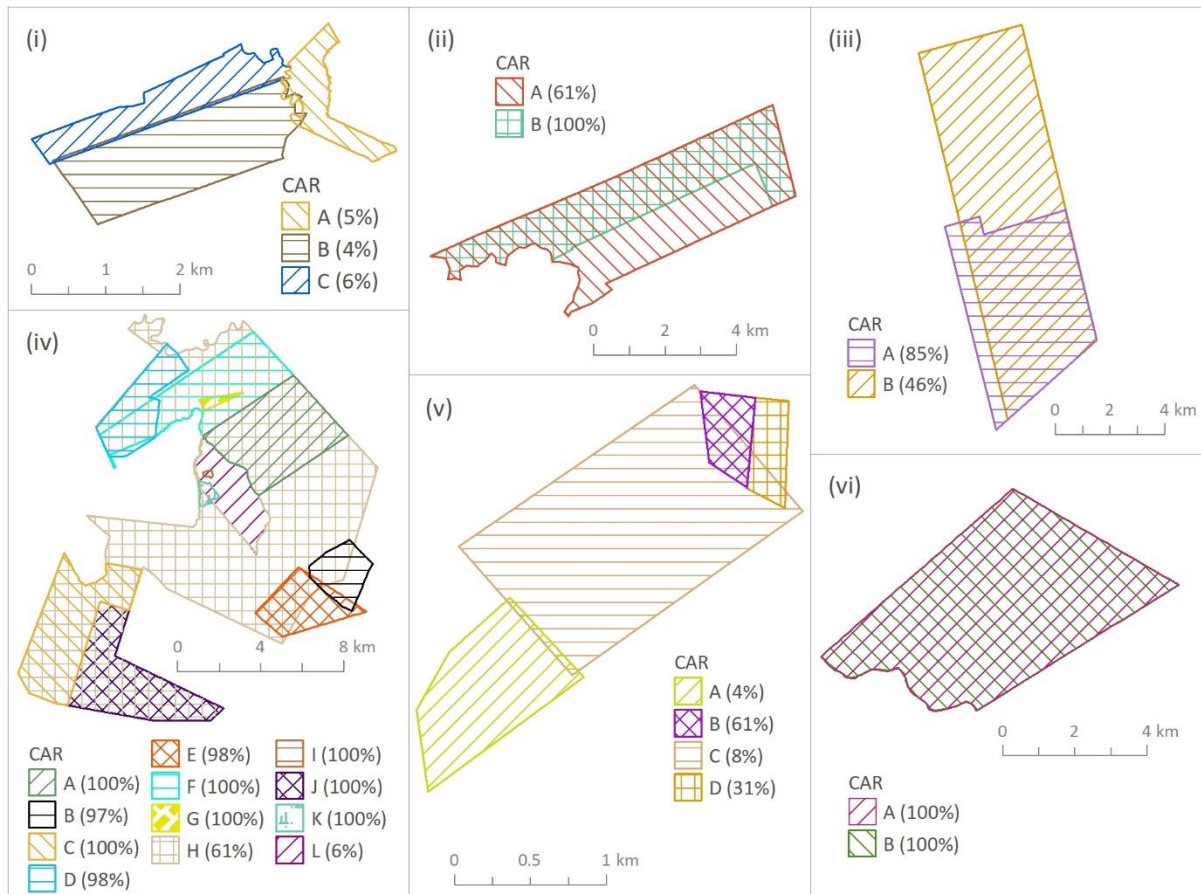


Figure 3.5. Examples of CAR overlap in the states of Pará and Mato Grosso. Overlap percentage in parentheses. In some cases, there are other registries not shown in the example that intersect edge.

About 64% of the registrations (117,096) have little overlap (10% at most); they are inside the limits acceptable by the automatic filters of the CAR's 'analysis module'. This means that this type of overlap has no negative effect on the overall quality of the CAR. It can be characterized as an error in drawing the polygons that represent the limits of the rural properties or different levels of precision as indicated by L'Roe et al. (2016), Roitman et al. (2018) and Sparovek et al. (2019). In addition, the error may still be derived from property documentation with incorrect demarcation, for example, if the CAR was made using the coordinates of the vertices presented in the rural property document.

The other types of overlaps with percentages above the tolerance classify the registers as 'pending'. The pendency influences the loss of quality of 30% of the analyzed data that cover 21.3 Mha of the overlapped area, of which 41% are located in the state of Pará and 31% in Mato Grosso (Table 3.1). These classes of overlap may be related to agrarian conflict, disputes in the

delimitation and land tenure, poor quality of registered data or another condition, as also raised by L’Roe et al. (2016), Roitman et al. (2018) and Sparovek et al. (2019).

The ‘identical’ type of overlap was found in a portion of 2% (1,084) of pending registrations. These registers show repetitions with the same area and centroid, although they have different identification codes, may indicate duplicate registries since they have the same geospatial delimitation; consequently, they present 100% of their overlapping areas. However, half of this group could be reduced, since about 50% of them are exclusive, repeating two, three or five times (Table S3.6). That indicate could being versions of registries of the same property, by either update or double registration area by other owner, contrary to the guidelines for the realization of a single cadastre by property²⁷.

Table 3.1. Estimated situation of CAR based on the overlap among the registries analyzed in the states of Pará and Mato Grosso.

| Description | Pará | | Mato Grosso | | Total | |
|------------------------------------|---------|-----|-------------|-----|---------|-----|
| | n | % | n | % | n | % |
| 1. CAR analyzed | 124,173 | 100 | 99,963 | 100 | 224,136 | 100 |
| 1.1. Without overlap | 27,241 | 22 | 13,498 | 14 | 40,739 | 18 |
| 1.2. With overlap | 96,932 | 78 | 86,465 | 86 | 183,397 | 82 |
| 1.2.1. Not pending | 57,385 | 59 | 59,711 | 69 | 117,096 | 64 |
| 1.2.2. Pending | 39,547 | 41 | 26,754 | 31 | 66,301 | 36 |
| 1.2.2.1. Not identical | 38,824 | 98 | 26,393 | 99 | 65,217 | 98 |
| 1.2.2.2. Identical (area, x and y) | 723 | 2 | 361 | 1 | 1,084 | 2 |
| 1.2.2.2.1. Unique | 358 | 50 | 179 | 50 | 537 | 50 |

When considering the geographical distribution of properties with different levels of overlap, it is possible to identify the properties with the highest overlap degree located around the entire registered area (Figure 3.6). The histogram of CAR by degree of overlap shows a high frequency of registries at the ends (Figure 3.7). On one side, there are registrations without overlaps and those with small overlaps (not pending); on the other side, there are ‘pending’ registrations with over 90% overlap²⁸ (28,616 | 13%). Among the ‘pending’ registries, about

²⁷ ‘For rural property that includes more than one owner, individual or legal entity, only a single registration with the CAR must be made, indicating the identification corresponding to all owners’ (SFB, 2017a).

²⁸ It is related mainly to: (i) the existence of smaller registries inside a larger area cadastre; (ii) the cases of repetitions of registries with the same area and centroid that have different identifiers; and (iii) repetitions of registries with small differences in the polygons (i.e. presence or absence of one or more vertices).

76% (50,060) are small properties (up to 4 FM) with 2.4 Mha of total overlapping area, 14% (9,546) are medium (4-15 FM) that together reach 3.3 Mha of area overlapping and 10% (6,695) are large properties (>15 FM) that add up to approximately 15.6 Mha of overlapping area.

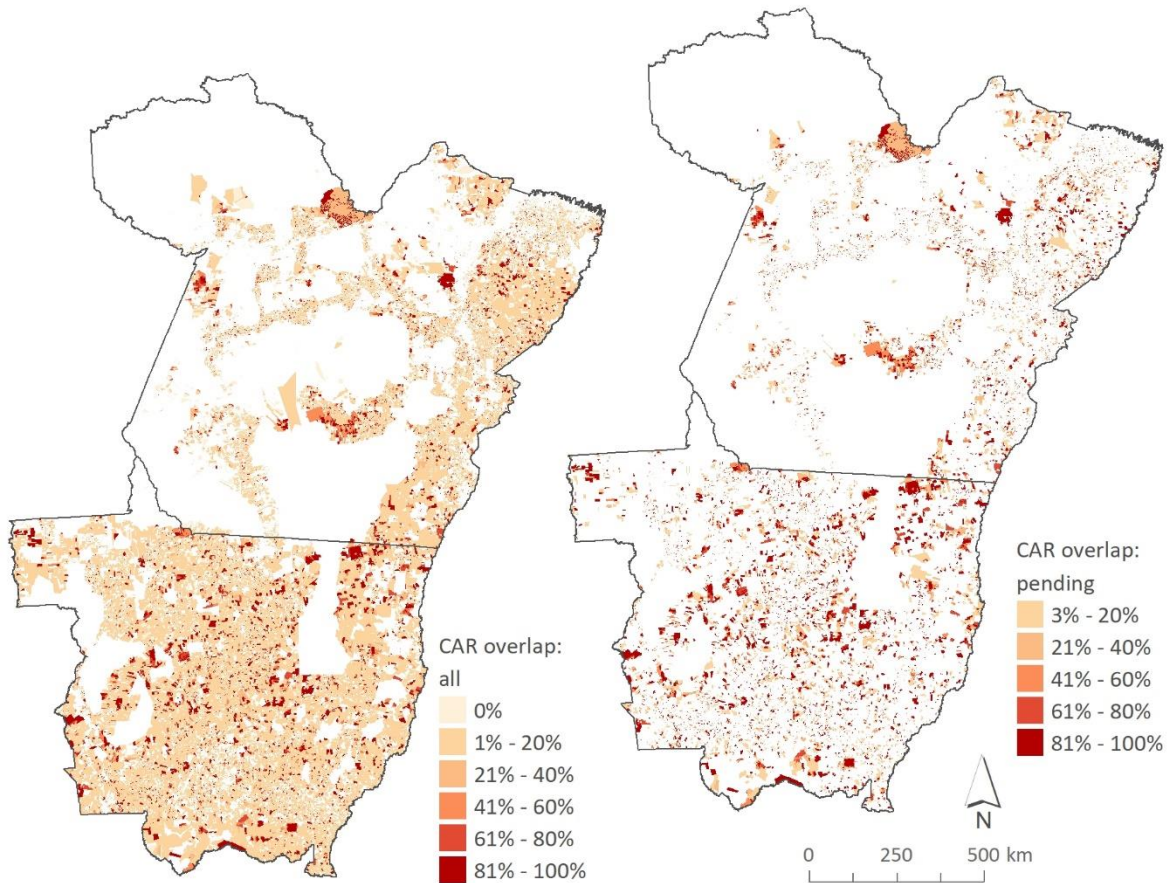


Figure 3.6. CAR overlap distribution: all analyzed registries (left) and CAR pending (right).

Compared with L’Roe et al. (2016) and Roitman et al. (2018), we found a lower percentage of overlapping registries in the range of 5-95% in Pará (26% | 31,922) and a higher percentage of registrations with some degree of overlap in Mato Grosso (86% | 86,465). This difference is a result of the methodological strategies of analyzes adopted and the number of registries evaluated. For example, we opted to maintain in the analyzes the spatially identical registries (of the same area and centroid) that had different identification codes, with the intention of exploring and understanding the situation of the entire CAR dataset in Pará and Mato Grosso, outside areas of rural settlements, indigenous lands and *quilombolas*. The CAR database explored here is dated August 2018, therefore, it has 22% more of registrations in the state of Pará than the dataset analyzed by L’Roe et al. (2016) whose dataset is from November 2013. Likewise, Roitman et al. (2018) also use an older dataset from September 2016. Since

the number of overlaps tends to increase with the coverage of CAR, these differences in results are expected.

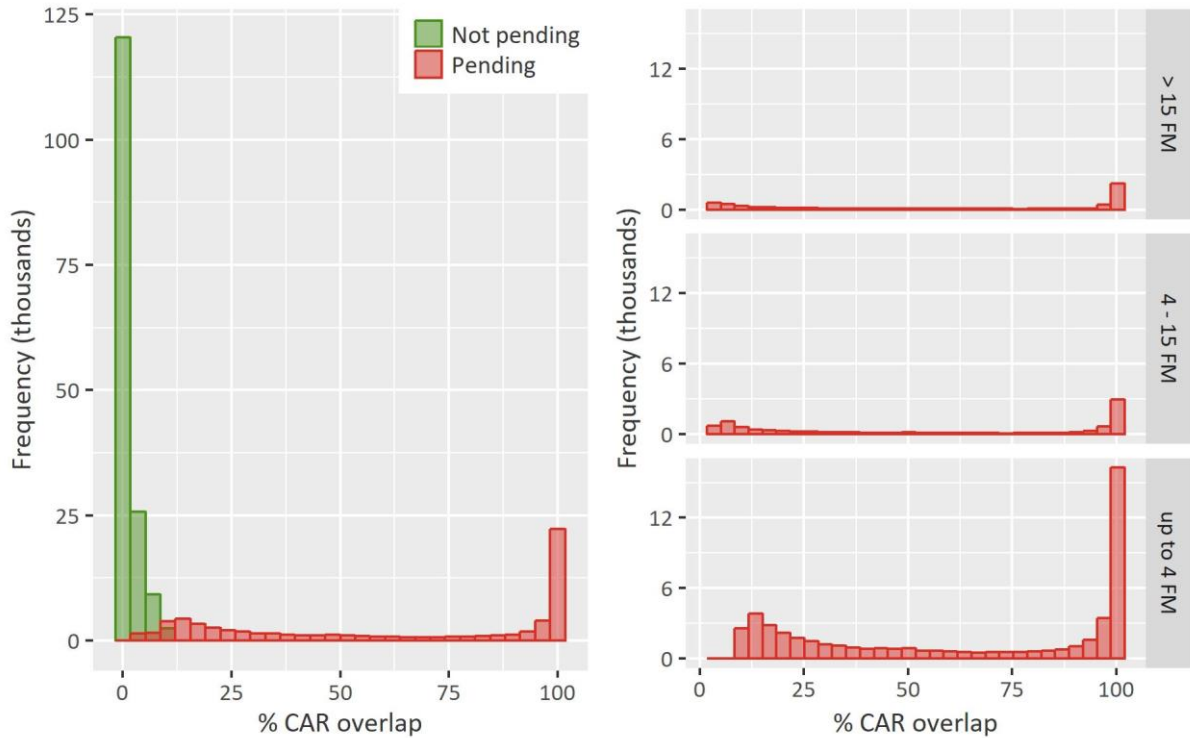


Figure 3.7. CAR overlap histogram: all analyzed registries (left) and CAR pending by group sizes (right) – up to 4 FM (small), 4-15 FM (medium) and >15 FM (large). FM – fiscal module.

3.3.1.2 CAR vs. INCRA

The land cadaster data (INCRA/SIGEF) covered by multiple CAR registrations are restricted to 13% (5,925) of the analyzed data, which comprise 15% (33,838) of the CAR registries. Of which 56% (3,350) are covered by CAR with centroids inside and 44% (2,727) with centroid outside (Table S3.7). This last case is made up of parcels of rural properties that have their own centroid CAR inside²⁹ and is still covered by another CAR with centroid outside. Not being the CAR of the owner of the parcel, at least not by the identification of the owner by SIGEF, since it was not possible to identify the owner by CAR (due to the lack of information in the analyzed database).

²⁹ Sometimes this CAR is by parcel or by owner with multiple parcels in the SIGEF, i.e. the CAR centroid may be off the parcel, but in the same owner area.

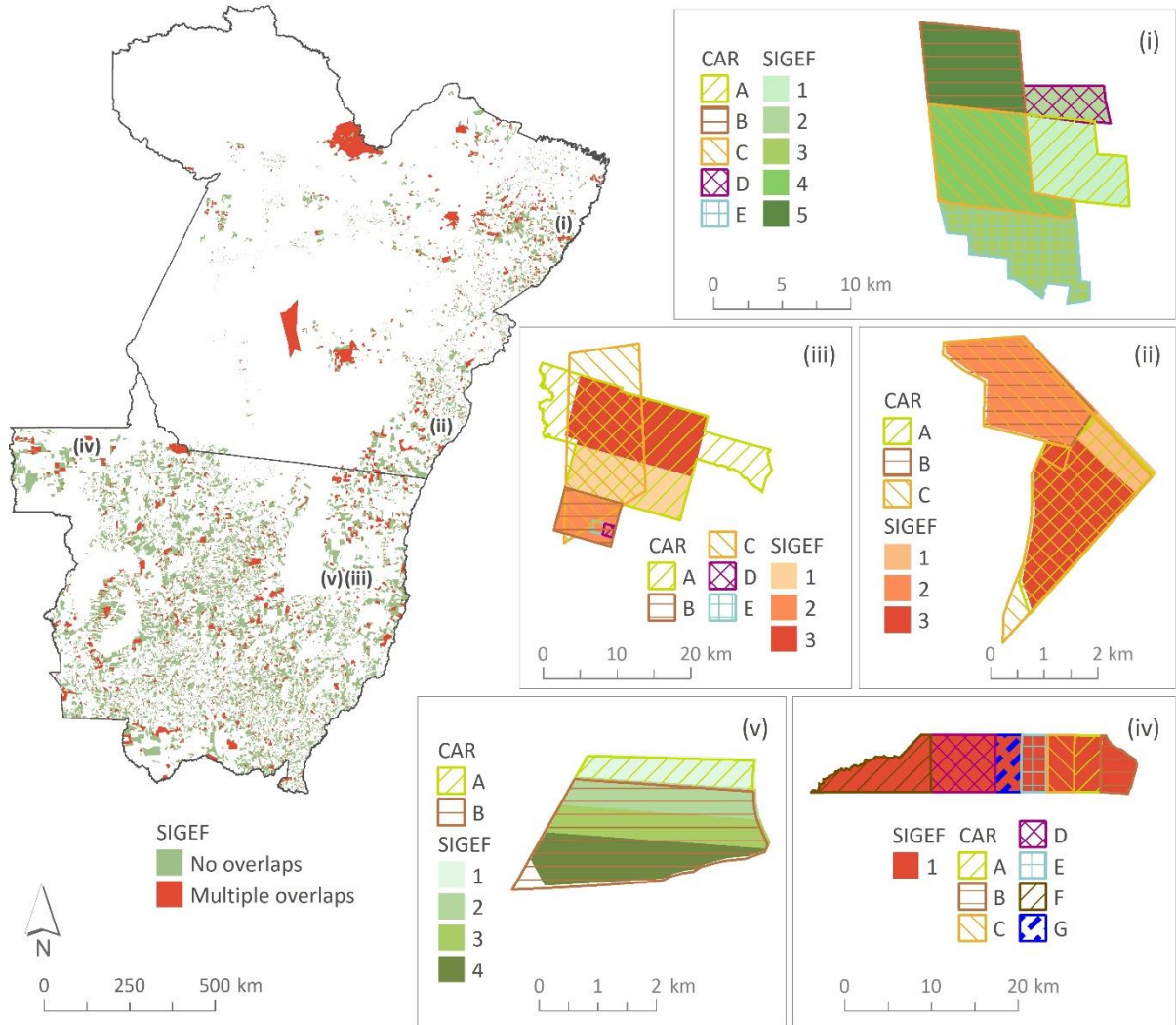


Figure 3.8. CAR coverage in the land cadaster (INCRA/SIGEF).

Figure 3.8 shows the land cadaster situation in relation to CAR coverage (left) and presents five examples (right). The first one shows each parcel of property in the SIGEF has a spatially associated CAR, therefore, we would say that the CAR is correct. The second example presents three registries in the CAR and three parcels in the SIGEF, however, each CAR does not match spatially to a single SIGEF (‘CAR A’ covers the ‘SIGEF 1 and 3’, ‘CAR C’ covers SIGEFs 1 to 5, and only ‘CAR B’ covers a SIGEF). In this case, the ‘CAR A and B’ may be interpreted as inaccurate, given that the parcels of SIGEF belong to the same holder (according to INCRA data) and consideration that landowners, who have more than one property in a continuous area, regardless of the size of the area and domain characteristics, should make a single registration for these properties (MMA, 2014; SFB, 2017a).

The CAR number is greater than the SIGEF in the third example³⁰ and it is more possible that ‘CAR A’ is accurate than ‘CAR C’. The small internal registries (CAR D and E) may be cases of invasions or other landowners of the same family. It does not seem to characterize subdivision of the area by the same landowner to deviate from the percentages of LR since a CAR of the total area was registered. Alternatively, smaller indoor areas may have been sold after the total area of the CAR was registered, whose new owners made the CAR and the previous owner did not update the registration according to the CAR's filling guidelines³¹. In the next example, the SIGEF is subdivided into several CARs. This fragmentation into parallel CAR registrations may characterize sale, inheritance or also invasion that was not dismembered in INCRA, since this process is quite bureaucratic. ‘Many real estate transactions are not registered due to bureaucracy and the high cost of the procedure’ (Chiavari et al., 2016, p. 27). The last example showed a CAR for each landowner, even the landowner having many parcels in the SIGEF: a registration (CAR B) that covers four parcels (SIGEF 2, 3 and 4) of the same holder, and a registration (CAR A) that covers a parcel (SIGEF 1).

L’Roe et al., (2016) pointed out that many of the CAR registrations in Pará were done in a strategic way by: not registering the whole/exact property, dividing the land into many parts under different names to fit obtain deforestation amnesty granted to small properties and registering in portions of 100 ha in order to obtain the land from the government at no cost. Our analyses suggest that at least part of the multiples registration in the CAR on the same property at INCRA does not appear to be a strategic registration to benefit from the LR amnesty devastated before 2008, because the registrations are >15 FM and to fit this category it is necessary to have up to 4 FM. However, this does not exclude the existence of cases in which farmers made strategic subdivisions thinking about the amnesty.

3.3.1.3 Vegetation declared vs. observed and LR deficit/surplus recognition

The median of native vegetation data declared in the CAR is lower than the median of the observed data via remote sensing ($p < 0.001$ at Wilcoxon paired test). Even considering a range of 10, 4 and 3% of the area declared for more or less in small, medium and large properties, respectively, more than 55% (145,795) of the properties analyzed have less declared

³⁰ ‘CAR B, D and E’ are located in the area of ‘SIGEF 2’, ‘CAR D and E’ is internal to ‘CAR B’, ‘CAR A’ covers ‘SIGEF 1 and 3’, while the ‘CAR C’ transversely overlaps the three SIGEFs, thus covering part of them.

³¹ ‘In cases of dismemberment or fractionation of rural property already registered in the CAR, the owner should promote the update of the cadastre made. For the rural property originated from the dismemberment or fractionation, the owner must make a new registration’ (SFB, 2017a).

vegetation than the existing one. Almost 1/5th (25,650) of this group is composed of medium (4-15 FM) and large (>15 FM) properties. In general, all property size groups had a higher percentage of properties with less declared vegetation than observed (Figure S3.2). On the other hand, 14% (36,409) declared more vegetation than the captured by satellite data, which about 7% (2,442) are large and 11% (4,138) are medium properties.

The divergences identified may be due to the differences in the databases (date, spatial resolution), influence of the overlaps among the registries, errors in the delimitation of the declared native vegetation area as well as the farmers' intention, since L'Roe et al., (2016) noticed possible cases of partial registration of rural properties. Another explanation is a low level of understanding of farmers in relation to the legal requirements of the NVPL (Pacheco et al., 2017). This possibility is reinforced given the divergences identified between the LR situation statements (CAR's questionnaire) and the estimates from the declared vegetation area (Table S3.9). These results suggest that it is often common for a farmer to think that his property complies with the NVPL when it has a part of the vegetation as LR, however, this area may not be in the appropriate size required by the Law.

About 8 and 5% (22,356 and 14,961) of the farmers recognize that they have native vegetation as LR in percentage lower (deficit) and bigger (surplus) than required by the NVPL, respectively. The other farmers stated that they had no deficit (32%) or LR surplus (35%), or did not answer³² (Table S3.8). Considering the answers of the CAR's questionnaire with the LR estimates from the declared vegetation area (Table S3.9), we can describe three groups. The first (true positive), is formed by 72 and 47% (13,938 and 6,011) of the farmers who acknowledge having a deficit and a surplus of LR and they were confirmed by the estimates, respectively. In the second (false negative), about 62 and 13% (48,989 and 10,853) of those who declared that they did not have a deficit or a surplus were identified with deficit and surplus. Finally, the last group (false positive) has 36 and 9% (4,611 and 1,782) of those who declared that they had a surplus and LR deficit and were identified as having the opposite. Thus, the probability that farmers declared the LR status according to the deficit estimates was 11.7% and 8.7%.for surplus.

³² The CAR's registration was prior to the form's existence in the national model (National Rural Environmental Registry System – SICAR).

3.3.2 Explanatory factors of CAR quality

The multivariate analysis for each property size class (small, medium and large) indicates that about 2% of CAR quality are explained by the analyzed variables (Table 3.2). Yet, all predictors were statistically significant in at least one of the three evaluated linear regression models considering a significance level of 10%. This suggests that even though the predictive power of our statistical model is weak, it provides useful information about the factors that influence in a positive or negative way the quality of CAR registries. In particular, six categories of factors were considered, totaling 20 variables: rural conflicts (with 5 variables), land use/cover (4), economic factors (4), farmer's characteristics (2), farm characteristics (3) and policy context (2).

We evaluate the effect of social conflicts in the countryside³³ on CAR quality, mainly in the form of land conflicts and labor conflicts. In such a way, the rate of people involved in land occupations, as well as rural overexploitation, negatively affects the quality of CAR, as expected (it is negative in almost all four individual indices – Table S3.4 and S3.5). However, their estimated coefficients are close to zero, resulting in a small average effect on CAR quality (Table 3.2). This may be the result of (i) actions by landless people that claim land, forming a group of small properties on medium and large properties, who may also have made the CAR; and/or (ii) large areas being registered involving some small previous registries to demonstrate land tenure and/or right of use. Although the CAR is not valid for the land issue (Brasil, 2012), in practice, cases of the improper use of the CAR for land grabbing and expulsion of farmers from certain areas in Pará have already been observed (Barcelos and Barros, 2016; Caverni, 2016). It is possible “that landholders may have come to view the environmental registry as a hopeful step on a path toward a future land title, rather than as a tool that facilitates monitoring of their land use” (L'Roe et al., 2016, p. 202). Furthermore, land conflicts in Brazil go far beyond the legal scope, generating social, economic and environmental costs, for example, violence in the countryside, problems in the land market and illegal deforestation (Chiavari et al., 2016), inequality in production, distortion of investment decisions and crop choices (Mueller, 2016).

Differently, the rate of slave labor and murder in the countryside had a positive effect. The death threat was only negatively related in the group of small properties, indicating probable existence of threats received by occupants of small properties that overlap with larger

³³ ‘Actions of resistance and confrontation that occur in different social contexts in rural areas, involving the struggle for land, water, rights and means of work or production’ (CPT, 2019, p. 19).

ones. This result may be explained by the widespread use of private militia (i.e. *pistoloeiros*) by large landowners to expel small farmers and traditional populations in the process of land grabbing (Simmons, 2004).

Table 3.2. Estimated coefficients and levels of significance for CAR quality regression models.

| Variable | Small farms (n = 137,223) | | | Medium farms (n = 24,008) | | | Large farms (n = 15,237) | | |
|----------------------------|------------------------------|----------|-----|------------------------------|----------|-----|-----------------------------|----------|-----|
| | Estimate | Pr(> t) | | Estimate | Pr(> t) | | Estimate | Pr(> t) | |
| (Intercept) | 0.539 | < 2e-16 | *** | 0.321 | < 2e-16 | *** | 0.284 | 1.3e-10 | *** |
| Rural conflicts: | | | | | | | | | |
| Death threat | -0.067 | < 2e-16 | *** | - | - | - | 0.068 | 7.7e-05 | *** |
| Murder | 0.026 | < 2e-16 | *** | 0.016 | 5.5e-03 | ** | - | - | - |
| Occupations | < -0.001 | < 2e-16 | *** | < -0.001 | 1.3e-06 | *** | < -0.001 | 5.0e-05 | *** |
| Overexploitation | -0.008 | < 2e-16 | *** | - | - | - | -0.004 | 1.5e-02 | * |
| Slave labor | 0.003 | < 2e-16 | *** | - | - | - | - | - | - |
| Land use/cover: | | | | | | | | | |
| Deforestation | -0.098 | < 2e-16 | *** | - | - | - | -0.060 | 4.3e-02 | * |
| Pasture | -0.039 | < 2e-16 | *** | 0.077 | 1.9e-10 | *** | 0.081 | 1.7e-06 | *** |
| Agriculture | 0.201 | < 2e-16 | *** | 0.040 | 2.0e-02 | * | - | - | - |
| Mosaic | -0.184 | 6.6e-07 | *** | -0.579 | 1.6e-10 | *** | -1.015 | < 2e-16 | *** |
| Economic factors: | | | | | | | | | |
| HDI income | 0.054 | 2.3e-04 | *** | 0.349 | < 2e-16 | *** | 0.299 | 3.7e-07 | *** |
| Financing | -0.046 | 2.1e-05 | *** | - | - | - | 0.075 | 1.0e-02 | * |
| Price of agricultural land | < -0.001 | < 2e-16 | *** | < 0.001 | 6.6e-15 | *** | < 0.001 | 6.3e-10 | *** |
| Price of livestock land | - | - | - | < -0.001 | 2.4e-07 | *** | - | - | - |
| Farmer characteristics: | | | | | | | | | |
| Lack of schooling | -0.028 | 4.2e-02 | * | -0.130 | 2.4e-04 | *** | 0.085 | 5.6e-02 | . |
| Women | 0.151 | < 2e-16 | *** | 0.185 | 9.8e-05 | *** | 0.404 | 7.5e-10 | *** |
| Farm characteristics: | | | | | | | | | |
| Property size (ha) | < 0.001 | < 2e-16 | *** | < 0.001 | < 2e-16 | *** | < -0.001 | 2.0e-04 | *** |
| Bought from private | 0.108 | < 2e-16 | *** | 0.061 | 2.5e-05 | *** | 0.108 | 1.4e-07 | *** |
| Inheritance or donation | 0.067 | < 2e-16 | *** | - | - | - | -0.058 | 8.7e-03 | ** |
| Policy context: | | | | | | | | | |
| Presence of NGOs | 0.048 | < 2e-16 | *** | 0.020 | 8.8e-05 | *** | - | - | - |
| Amazon Fund | -0.032 | < 2e-16 | *** | - | - | - | - | - | - |
| R ² Adj. | 2.07% | | | 2.52% | | | 2.34% | | |

Significance levels: *** $p \leq 0.001$; ** $p \leq 0.01$; * $p \leq 0.05$; and . $p \leq 0.1$. Rural conflicts here characterized by (i) land conflicts – actions of resistance and confrontation for possession, use and ownership of land and/or access to

natural resources; and (ii) labor conflicts – cases where the labor *versus* capital relationship indicates the existence of slave labor and/or overexploitation³⁴.

Different land use/cover factors have influenced the quality of CAR. The dynamics of deforestation in the period 2000-2017 had a negative influence on the quality of the CAR. The estimated coefficients indicate that for each one-unit increase in the lost vegetation rate, the quality of the CAR is expected to decrease by 0.10, on average, in small properties, 0.06 in the large properties (three indices also had a negative effect on at least one size group – Table S3.4 and S3.5). On the contrary, the rate of agricultural land use has a positive effect on the quality of CAR. A higher effect is expected among the small properties (0.20) than in medium and large properties (about 0.04). For medium and large properties, the greater the rate of pasture cover, the greater the CAR quality; for small properties, it is the opposite. Another land use class defined as a mosaic of agriculture or pasture has a negative influence in all size properties, and it is stronger on large properties (-1) (Table 3.2).

These results suggest that the areas on the edge of the agricultural frontier (with high deforestation levels), with a landscape dominated by low yield pastures, the quality of CAR tend to be lower, while areas mostly with crops and lower deforestation after 2000 have better CAR registries. In addition, areas whose land use and cover categories have been clearly identified as agriculture and livestock tend to present better CAR quality, while those with low distinction in the classification process tend to present loss of quality. In the first case, the effect may be linked to the mobilization of farmers to organize and regularize their properties that possibly have large production areas and therefore the market may influence them, for example. Studies have shown that market demands have mobilized farmers to adopt agri-environmental measures such as adherence to supply chain agreements and the CAR (Gibbs et al., 2015; 2016). The second may indicate properties in the early stages of the consolidation process of areas, which may come after deforestation that also had a negative effect.

Other economic and social factors at municipal-level also influenced the quality of CAR. The estimates of the municipality human development index (HDI), based on income, indicate that for each one-unit increase, the CAR quality is expected to increase by 0.30 in medium and large properties and 0.05 in small properties (this variable had a positive effect only on the overlap and declared vs. observed indicators). On the other hand, the rate of farms that had agricultural financing and the price of agricultural land influence on the decrease of

³⁴ It ‘happens in the wage sphere and concerns occurrences where unpaid working hours exceed the normal rate of labor exploitation. It is generally linked to precarious working and housing conditions’ (CPT, 2019, p. 19).

CAR quality only in small properties while the price of livestock land influence in the medium properties. The purchasing power of farmers may influence the quality of the CAR, since it possibility consulting services for registering the CAR or even georeferencing the property (an accurate land registry and expensive), of which spatial data can be used in the CAR.

The rate of property owners who have never attended school reduces the quality of CAR in small (-0.03) and medium (-0.13) properties, however, it increases in large (0.09) properties (Table 3.2). This behavior is also observed individually in the indicator that evaluates the overlap (Table S3.4). The higher rate of women as households of rural properties on average at municipal level is also correlated with a higher quality of CAR. This result is mainly influenced by the overlap, CAR vs. INCRA and deficit/surplus recognition (Table S3.4 and Table S3.5). It is expected to increase approximately 2.7 times more in large properties than in small (0.15). Formal education and gender is two of the most common demographic characteristics that agricultural studies have long observed a relationship in the farmers' environmental behavior (Burton, 2014). Studies generally suggest that women in agriculture are more environmentally oriented than men, for example, by supporting environmental protection regulations, participating in agri-environmental programs or performing private conservation activities (Burton, 2014). Education change attitudes and increase understanding of complex issues, enhances skills and knowledge human and cultural capital (Burton, 2014).

Likewise, the rate of properties bought from private individuals has a positive effect on the quality of CAR (also had a positive effect on all the indices evaluated individually), about 0.10 in small and large properties and 0.06 in medium properties (Table 3.2). The rate of properties acquired through inheritance or donation is statistically significant for small (+) and large (-) properties only. This may be associated with land tenure stability of properties with these characteristics. The presence of non-governmental organizations (NGOs) in municipalities positively influences the CAR quality in small and medium properties as a result of local engagement (Table 3.2). Finally, Amazon Fund investments (normalized by the total area of the municipality) are related to a slight worsening of CAR quality from small properties, with no significant effect for other property sizes. Since not only NGOs but also federal, state and local governments implement Amazon Projects, the stronger positive result steaming from the former are more successful in implementing high quality CAR projects than governmental actors. Many NGOs have participated of successful CAR implementation projects in the Amazon (Roitman et al., 2018).

3.4 Discussion

The results presented above reveal a more nuanced understanding of the current situation of CAR as well as the factors that explain a higher and lower quality of individual registrations. As expected, the fact that the CAR is declaratory facilitated and accelerated the registration and reduced costs, but in line with other studies, we found that the registry presents some uncertainties (Camargo, 2013; Freitas et al., 2018; Laudares et al., 2014; L'Roe et al., 2016; Roitman et al., 2018). There are not only overlapping in the CAR, it is also possible to find overlaps between different categories of land tenure in Brazil, both on public and private land (Sparovek et al., 2019). With the CAR, land problems have become even more evident in certain areas (Chiavari et al., 2016). On the other hand, the CAR program is a starting point for many conservation actions and is a good opportunity to improve cartographic resources in Brazil, both to assist in analysis and validation of the CAR and as a mapping tool in itself.

Some state governments are mobilizing to analyze and validate the CAR, with Mato Grosso and Pará taking the lead. However, there are still challenges and improvements needed to successfully drive the validation. These include such as the definition of strategies, an increase of technological infrastructure, acquisition of reference bases and expansion of the team in Pará and in other states (OCF, 2019; Valdiones and Bernasconi, 2019). All this may cost millions of dollars and the governments certainly do not have the resources, which further reinforces the importance of technical and financial cooperation agreements with other institutions. On the other hand, halting the implementation of the NVPL could cost much more, since production chains are exposed to the risk of a trade barrier (e.g. due to non-implementation of the regularization of vegetation deficits). Therefore, the validation strategy is crucial to reduce the effects of limited resources, for example, by adopting validation through high-resolution satellite images and leaving critical cases for verification in the field, measures to choose the first registries in the analysis queue, such as medium and large properties and/or properties that export commodities.

Recently, the federal government presented the states with a tool for automatic analysis of the registries. Automatic analysis assigns agility to the process, as opposed to manual/individualized analysis, which is not feasible (both in time and costs). For example, the technical team in Pará and Mato Grosso can only analyze about 7k and 380 registries per month, respectively (ValidaCAR project, Pará – data until March 20, 2019, Mato Grosso – data until April 22, 2019). By automatically validating a large share of the CAR registries, the states could focus on the largest farms in order to promote the compliance of more areas with a smaller

effort. Our analyses suggest that it is possible to solve the problem of 18.9 Mha (89%) of overlap above tolerance by analyzing 24% (16,241) of the pending registrations if the analysis strategy prioritizes the medium and large properties. Moreover, such properties are likely to have the largest volumes of areas requiring environmental regularization (e.g. LR deficit), which, if solved soon, will bring great environmental gains. For the largest volume of pending registrations that is concentrated in family agriculture area (76% | 50,060), other strategies should be adopted. These could include local mobilization activities (i.e. *multirôes*) whereby all the landowners from a given area are invited to try to discuss and solve collectively overlap and native vegetation declaration problems, instead of acting on an individual basis, sending notifications by email to small farmers that quite often do not have access to the internet.

Our results also go beyond the current literature by point out the social, economic and environmental aspects that help to explain the differences in CAR quality across different areas and property sizes. NGOs have played an important role in providing high-quality CAR registrations, quite often with the financial support of the Amazon Fund. Since the validation will involve not only strictly technical issues, but also complex socioeconomic contexts and bearing in mind that CAR analysis is only the beginning, there are other steps that may take some time to validate, the success of the NVPL implementation will depend on the reconstruction of strong alliances between local farmers, trade unions, and governmental and non-governmental organizations.

3.5 Conclusion

Our study showed that, despite the overlap reaching approximately 82% of the analyzed properties, most overlaps are marginal and when applied tolerance criteria defined by the government (3-10% depending on the farm size) this figure drops to 36%. Overall, 70% (124 thousand) of all registries, corresponding to 64% (53.1 Mha) of the area of registered properties, can be considered of high-quality CAR (i.e. below 10% error in all indicators). Given the prevalence of high-quality CAR, the federal and state governments could draw inspiration on this study and develop automated validation processes able to identify inconsistencies. Moreover, the states have other data to assist in the analysis and validation of the CAR (e.g. registration dates and landowner's name that allows identification of update cases). The results of this study indicate that many analyses would be done at the office in an automated and/or semi-automated process with remote sensing data, reducing the field demand and financial resources.

4 ADESÃO AO PROGRAMA DE REGULARIZAÇÃO AMBIENTAL (PRA)

O PRA foi criado para regularizar os imóveis com pendências de APP, RL e áreas de uso restrito. O Programa consiste em um conjunto de ações divididas em três estágios que envolvem, após o registro no CAR, a assinatura de termo de compromisso³⁵, sendo, posteriormente, elaborado o PRADA³⁶ e, quando couber, a compensação³⁷ (Brasil, 2014). Os Estados são encarregados por regulamentar, implantar e monitorar o PRA, assim como o CAR. A maioria das unidades da federação já publicou normas regulamentando o Programa, mas algumas delas não apresentam definições de parâmetros para elaboração dos PRADAs e opções para regularização de imóveis com déficits gerados após julho de 2008 (Valdiones e Bernasconi, 2019). O Pará e o Mato Grosso estão entre os estados com o PRA regulamentado (Anexo), além disso, o Mato Grosso divulga na internet os limites dos imóveis que aderiram ao PRA e os respectivos termos de compromisso firmados (Valdiones e Bernasconi, 2019).

O produtor rural, independente de aderir ao PRA ou não, poderá adotar medidas para regularizar as áreas consolidadas, contudo, o Programa traz benefícios aos adotantes como a suspensão de multas e conversão dos valores em serviços de preservação e recuperação ambiental (Brasil, 2012). Para as áreas consolidadas até 2008, os mecanismos externos são potenciais aliados à implementação da regularização ambiental, principalmente nas propriedades rurais com alta produtividade (Freitas et al., 2017; Soares-Filho et al., 2016). Nesse sentido, as declarações dadas no CAR são indispensáveis para avaliar a intenção dos produtores rurais em adotar o PRA e as alternativas que escolheriam, isolada ou conjuntamente, para regularizar o déficit de RL. Assim, o artigo seguinte investiga a disposição dos produtores rurais em optar pela regularização via PRA e a expectativa de regularização do déficit de RL dentro ou fora do imóvel rural.

³⁵ Documento formal de adesão ao PRA, que contenha, no mínimo, os compromissos de manter, recuperar ou recompor as APPs, RL e uso restrito do imóvel rural, ou ainda de compensar áreas de RL.

³⁶ Instrumento de planejamento das ações de recomposição contendo metodologias, cronograma e insumos.

³⁷ Por exemplo, via CRA, um título nominativo representativo de área com vegetação nativa existente ou em processo de recuperação (Brasil, 2014).

Will farmers seek environmental regularization in the Amazon and how? Insights from Rural Environmental Registry (CAR) questionnaires

Rayane Pacheco, Raoni Rajão, Richard Van der Hoff and Britaldo Soares-Filho

Submitted to Environmental Research Letters on February 15, 2020

Abstract

As with the conservation of native vegetation, the adhesion of restoration or compensation of degraded areas is a challenge to be put into practice. The Brazilian Native Vegetation Protection Law (NVPL) requires farmers to conserve a minimum percentage of native vegetation within their properties as Legal Reserve (LR) as well as riparian forests and hilltops as Permanent Preservation Areas (PPAs). To monitor the conservation and facilitate the compliance of these areas, the Rural Environmental Registry (CAR) and the Environmental Regularization Program (PRA) were created. However, so far, little is known about farmers' interest in joining the PRA and the actions they intend to take to correct the illegal deforestation in LR. This article explores a unique dataset comprising of the individual answers of 97 thousand farmers in the states of Pará and Mato Grosso given to the Brazilian Forest Service in the process of registering at the national Rural Environmental Registry System (SICAR). We found that the adherence to the PRA is positively correlated with recognition of the LR deficit and the size of the rural property, which the outside compliance (compensation) expected mainly by medium and large landowners and crop producers, and the inside compliance (restoration) more likely to be adopted by small farmers and those without title of properties. Understanding the farmers' interest and options for LR compliance can contribute to discussions for the formulation of implementation strategies for PRA and NVPL.

Keywords: environmental regularization program, passive restoration, stated preference, Brazil.

4.1 Introduction

The future availability and quality of natural resources essential to life such as ecosystem services and biodiversity depend on the conservation and restoration of native

vegetation (Joly et al., 2019) that are still being deforested (INPE, 2019). In order to reduce the effects of the loss of ecosystem services caused by the advancement of unsustainable activities on native vegetation, compliance with legislation and agreements that regulate land use and/or environmental protection is essential and urgent. Thus, Brazilian environmental legislation plays an important role in the global contribution to biodiversity preservation and climate change mitigation, such as the Native Vegetation Protection Law (NVPL – Law 12,651/2012). This legislation has important instruments for conservation and environmental compliance of private lands, which cover $\approx 44\%$ of Brazilian lands (Sparovek et al., 2019) and have more than half of Brazil's native vegetation (Metzger et al., 2019; Soares-Filho et al., 2014; Sparovek et al., 2012). All individual farms must conserve a minimum percentage of native vegetation within their properties as Legal Reserve (LR) as well as riparian forests and hilltops as Permanent Preservation Areas (PPAs) (Brasil, 2012). These areas providers of ecosystem services that benefit both social and environmental comum good, as well as agricultural production through biological pest control, regulation of climatic and hydrological systems, maintenance of soil structure and fertility, nutrient cycling, and pollination (Ditt et al., 2010; Kennedy et al., 2016b; Metzger et al., 2019; Power, 2010).

Despitae the high potential for forest conservation, land clearing on private properties still remains the principal driver of native vegetation losses in Brazil. By 2008 farmers have deforested illegally 50 ± 6 Mha that should have been conserved as LR and PPAs (Soares-Filho et al., 2014) – see also Guidotti et al. (2017) and Sparovek et al. (2012) for other estimates. Part of these deficit, 16.3 Mha of LR and 4.5 Mha of APPs, has to be restored or compensated³⁸ (Soares-Filho et al., 2014). For this, the NVPL creates the Rural Environmental Registry (CAR, in Portuguese) and the Environmental Regularization Program (PRA, in Portuguese). CAR is a large environmental registration program in Brazil that emerged from the environmental policy innovation in the Amazon region, which combines a monitoring tool based on satellite images and digital georeferencing of rural properties (Azevedo et al., 2014; Pires and Ortega, 2013; Rajão et al., 2012). It is a mandatory electronic registry where farmers provide personal data, information about their property (e.g. size) and information about its legal status (LR, PPAs, etc.) (Brasil, 2012; MMA, 2014). Based on this information, farmers may develop actions for compliance their properties with the NVPL, for example, by joining the PRA and choosing

³⁸ The other part, about 58% all the illegally cleared areas prior to 2008 (mostly in LRs of small properties) was forgiven under growing pressure from law enforcement agencies, the agribusiness sector lobbied for a major overhaul in the NVPL leading to an amnesty (Soares-Filho et al., 2014).

options inside the rural property (natural regeneration or tree planting)³⁹ or outside by compensating⁴⁰ their LR deficits – area of native vegetation above the percentage required by law (Brasil, 2012). Although conservation and compliance are necessary, farmers' decisions on land use and occupation continue to prevail beyond legal limits and, perhaps, they delay or fail to comply.

Understanding farmers' conservation behavior is the key to increasing efforts to address agri-environmental challenges (Thompson et al., 2015). There is a growing literature on farmer participation in conservation and/or agri-environmental programs, investigating farmers' attitudes and behavior towards the introduction of environmental measures and the factors underlying them (e.g. Reimer and Prokopy, 2014; Thompson et al., 2015; van Dijk et al., 2016; Zhang et al., 2015). In Brazil, the willingness of private landowners to meet NPVL requirements on their properties has been a rising issue for scientific research, since achieving compliance is rife with socioeconomic and political challenges (Azevedo et al., 2017; Santiago et al., 2018; Trevisan et al., 2016). For instance, the majority of rural producers consider LR, in particular, an impediment to economic development as their maintenance involves foregone benefits (i.e. opportunity costs) from agricultural production (Azevedo et al., 2017; Bernasconi et al., 2016; Stickler et al., 2013). Yet, studies aimed at understanding the preferences of farmers for seeking compliance are still incipient (Brito, 2020; Coudel et al., 2012; Giannichi et al., 2017; Pacheco et al., 2017; Santiago et al., 2018; Schmidt and McDermott, 2014; Schons et al., 2019; Trevisan et al., 2016). At the same time, understanding the motivations for complying (or not) to NVPL regulations and identifying the factors behind them is an essential starting point for advocating forest conservation and restoration on private lands.

Empirical studies on the compliance with the NVPL provide a more nuanced account of how rural landowners decide whether or not to comply with LR regulations. Using an econometric approach, Schons et al. (2019) suggest that the non-compliance of landowners with the NVPL is correlated with proximity to highways (-), tenure time (+), property size (-) and possibilities for transitions from agriculture to cattle ranching. Santiago *et al* (2018) agree that property size is an important indicator of the likelihood of restoration (see also Stefanos et al., 2018), but add that crop diversity, as well as the presence of water sources, also contributes to

³⁹'Natural regeneration' is restoration of native vegetation resulting from natural processes, i.e. a passive restoration that consists of removing disturbing factors and isolating the area. 'Tree planting' consists of planting species of native vegetation and may include exotic species up to 50% of the total area to be recovered (Brasil, 2012).

⁴⁰ It is an offsetting mechanism that can be, for example, by forest certificates trading (CRA), LR surplus, areas in conservation units (UC) pending expropriation (Brasil, 2012).

compliance with LR regulations. Although this suggests at least some awareness of the benefits that forests provide (i.e. ecosystem services), some landowners still prefer non-compliance (Trevisan et al., 2016). Finally, landowner perceptions about law enforcement seem to have a strong effect on their behavior. More specifically, the likelihood of compliance decreases with lived experiences volatile political discourse (e.g. law revisions), weak and inconsistent law enforcement (Schmidt and McDermott, 2014) and also with the current and growing loosening of government inspection and penalization measures, while it increases with engagement in environmental licensing and exposure to extension agents (Santiago et al., 2018). Other studies argue that CAR could prompt landowners to comply with LR regulations (e.g. Laudares et al., 2014), but empirical evidence suggests that, so far, its effectiveness is limited at best, due to the lack of law enforcement (Azevedo et al., 2017; Costa et al., 2018).

Although these studies underscore that compliance with LR regulations is ultimately a conscious choice by landowners, there is scant evidence of the level of information of farmers in relation to the need to seek regularization or not. Furthermore, the diversification of regularization options introduced by the NVPL, particularly the introduction of compensation possibilities, not only raised questions about whether landowners would comply with LR regulations, but also how they would do so. Some studies have estimated the demand as well as the equilibrium price of forest certificates (CRA, in Portuguese) under different regulatory scenarios (Brito, 2017; Freitas et al., 2017; Giannichi et al., 2017; May et al., 2015; Nunes et al., 2016; Soares-Filho et al., 2016). While others have looked at the costs and challenges related to forest restoration (Nunes et al., 2017; Santiago et al., 2018).

Yet, very few studies have attempted to understand the preferences of farmers in relation to the different regularization options offered by the NVPL. Four exceptions are study based on a small sample in Paragominas, Pará (Brito, 2020) and in 17 municipalities in the states of Pará and Mato Grosso (Pacheco et al., 2017), Santiago et al. (2018) analyzed 476 properties in six municipalities in the state of Rondonia, and Schons et al. (2019) examined 1,084 households along the Transamazon and BR163 highways. Expanding on this literature we analyze a unique dataset provided by farmers as part of the enrolment at CAR in the states of Pará and Mato Grosso to understand (i) whether landowners are willing to seek compliance, and (ii) what strategy they are most likely to use. More specifically, we aim to answer the following questions: Do farmers intend to adopt the PRA to come into compliance with the NVPL? What regularization strategy do the farmers claim to adopt?

4.2 Methods

Our study was conducted in the states of Pará (PA) and Mato Grosso (MT), located in the Brazilian Amazon region. Both states are pioneers in the creation of CAR, even before it became a legal obligation at the national level (Azevedo et al., 2014; Rajão et al., 2012). More importantly, both states encompass the Amazon agricultural frontier known as the deforestation arc, where deforestation rates rank among the highest in the Brazilian Amazon in the last 30 years (INPE, 2019), even though they have been striving to reduce deforestation in the last decades (Nepstad et al., 2014; Nunes et al., 2016). Finally, they have a large number of LR areas that demand recovery in order to comply with NVPL regulations, yet there is also a significant portion of LR assets that may allow for compensation (Soares-Filho et al., 2016, 2014; Sparovek et al., 2012).

As part of its environmental registration procedure, the Rural Environmental Registry System (SICAR) includes a questionnaire about the environmental regularity of the property that must be filled by the farmers joining the system. This questionnaire involves multiple choice close-ended questions about the farmers' perception of the compliance level of the property (i.e. existence of LR deficit or surplus and existence of environmental fines), and farmer's intentions in relation to the regularization process (i.e. join PRA and how eventual deficits will be solved) (SFB, 2016). The data contain different sources of noise that generate uncertainties about the results of the analysis, namely, the binary (yes or no) approach of the questionnaire, farmers' lack of knowledge about the legislation and the fact that quite often third parties (i.e. specialists in geoprocessing and employees of rural trade unions and non-governmental organizations) filled the CAR's form. But despite these issues, we are confident that the dataset provides an important source of knowledge about farmers' preferences in relation to the environmental regularization process.

In addition to the SICAR questionnaire dataset (SFB, 2017b), we included the rate of land area covered by agriculture (soybean, corn and/or cotton) (Agrosatélite, 2017) and the estimated LR status from the vegetation area declared in the CAR (Soares-Filho et al., 2017) (Table S4.1). In total, we explored 97,782 properties with CAR⁴¹ (SFB, 2017b), 27% of the registrations in Pará and Mato Grosso. These datasets were analyzed from two perspectives:

⁴¹ Since SICAR did not require farmers already enrolled in the old state-based CAR to reinsert their data, we exclude the dataset involves farmers that registered their properties in the CAR before the data migrated from the state level to the national model, which did not have a questionnaire.

- (i) *An assessment of the farmers' willingness to adhere to PRA* – a descriptive analysis was performed that crossed the declarations made by farmers on adherence to PRA, the declarations of the existence of LR deficits on their properties and estimated LR status. Also, we used a logistic model in order to understand the profile of farmers wishing to participate in the regularization (*PRA model*: 0 = no, 1 = yes); and
- (ii) *A diagnosis of the declared preference of compliance alternatives* – to verify the likely choice of farmers, we used a logistic model in order to investigate whether the farmers are interested in the compliance inside (=0) or outside (=1) the rural property (*ALT model*), considering the characteristics of rural properties and their owners as determining factors (Table S4.1).

The fitted models assume that its outcome (Y) follows a binomial distribution (logit as link function):

$$Y_i = \log \left(\frac{\pi_i}{1-\pi_i} \right) = \beta_0 + \sum_{j=1}^p \beta_j X_{ji} \quad (1)$$

where i is each property of a sample size n and π is the probability that $Y = 1$ (*PRA model*: farmers will adhere to the PRA, *ALT model*: they will regularize the LR outside their properties). $(1 - \pi)$ is the probability that $Y = 0$ (*PRA model*: farmers will not adhere to the PRA, *ALT model*: farmers will regularize the LR inside their properties), $(\pi/1 - \pi)$ is the odds that $Y = 1$, and Y is the log odds or *logit*. β_0 is the model constant, β_j are the regression coefficients and X_j are the predictor variables (Table S4.1).

To verify the discriminatory capacity of the models, i.e. the response of the logistic regression models, we used the receiver operating characteristic (ROC) curve (Bradley, 1997). The ROC curve calculates the accuracy in predicting the occurrence of an event by taking into account the cases where it actually occurred (i.e. true positive rate – the proportion of correct answers from observations regarding answer $Y = 1$) in relation to instances it where did not occur (i.e. false positive rate – the portion of correct observations regarding answer $Y = 0$). The closer the response estimated by the logistic response model observed, the larger the area under the curve (AUC) (Costa, 2019).

4.3 Results

4.3.1 Farmers' stated preferences

In total, 81% (79,659) of the farmers stated that they wish to adhere to the PRA while 19% (18,123) claimed that they do not wish to adopt the program. In this context, Coudel et al. (2012) also demonstrated that about 80% of the landowners interviewed in the municipalities of Paragominas and Santarém, state of Pará, are willing (or maybe) to participate in a reforestation project. The intentions of not joining the PRA do not define the non-adhesion of options to comply with the NVPL, since the farmer may start independently, as indicated by Law 12,651/2012 (Brasil, 2012). There are some differences in preferences between farmers in Mato Grosso and Pará states. While 74% of the farmers stated they are willing to join PRA in the state of Pará, 84% of the farmers in Mato Grosso answered positively to this question. Among the farmers who agreed to adhere to the PRA, approximately 23% in both states also recognized the existence of an LR deficit within their properties. Of this group, only 15% (646) of rural properties in Pará and 76% (10,686) in Mato Grosso have LR deficits, estimated through declared vegetation (Figure 4.1).

About 55% (12,279) of the analyzed farmers stated that they would choose an option to comply with LR inside the rural property. Of these farmers, more than 70% (8,662) prefer to allow 'natural regeneration', while others stated that they prefer 'tree planting'. Although the remaining 45% (10,080) of the farmers stated a preference for 'compensating' their LR deficit (Figure 4.2), a portion of them (17% | 1,740) replied that they would not do so when asked how to compensate. This may indicate respondents' lack of knowledge and/or limitation of the CAR's questionnaire, as alternatives were formulated by checkboxes that enable respondents to select multiple responses from a defined list of options. The lack of knowledge about the NVPL compliance mechanisms was also pointed out by other studies that interviewed farmers in the Brazilian Amazon and Cerrado (Coudel et al., 2012, Giannichi et al., 2017; Pacheco et al., 2017; Rasmussen et al., 2017).

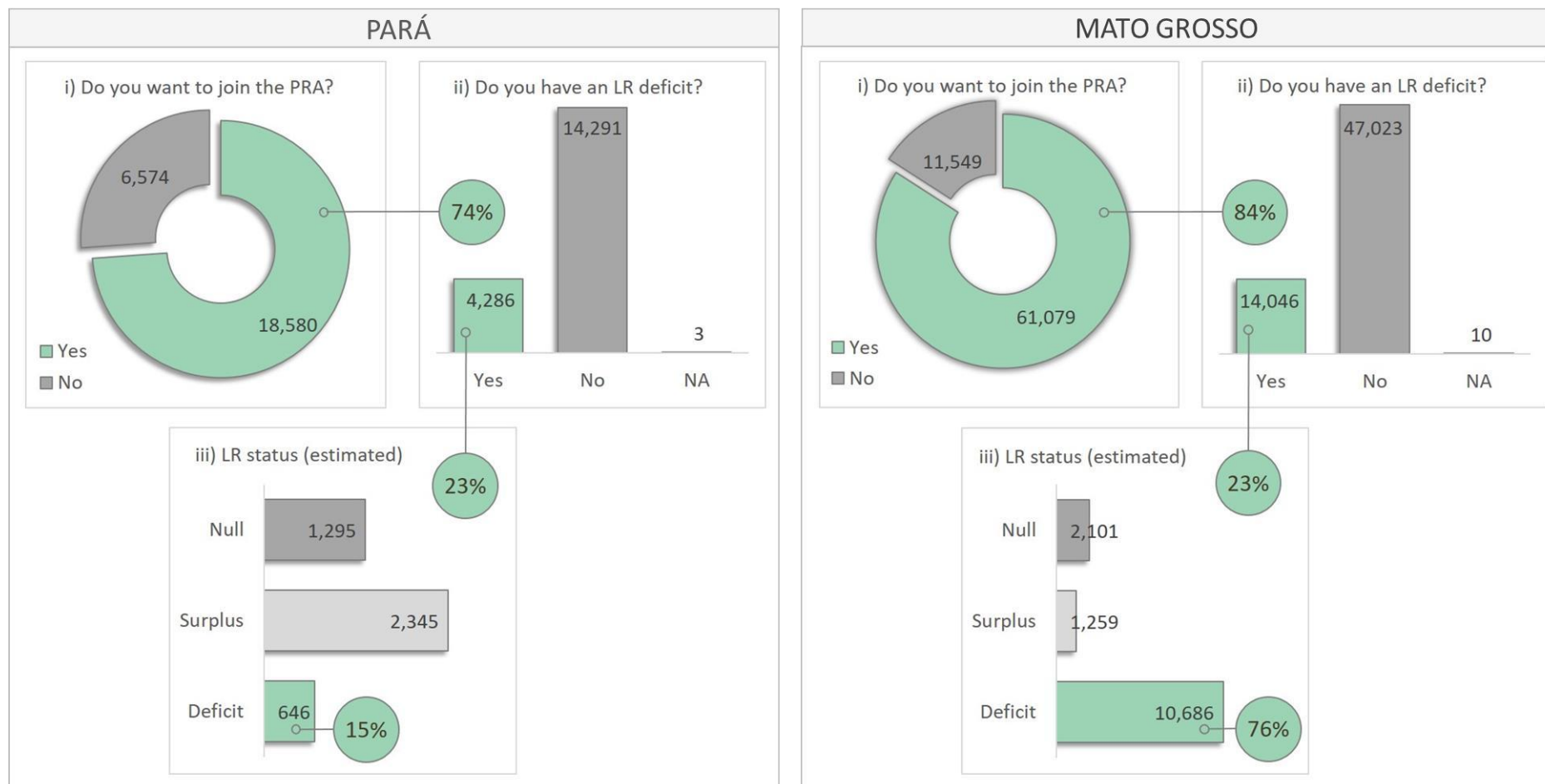


Figure 4.1. Classification of farmers who declared to join the PRA in Pará (left) and Mato Grosso (right).

NA – not available. LR status – it was estimated from the vegetation area declared in the CAR.

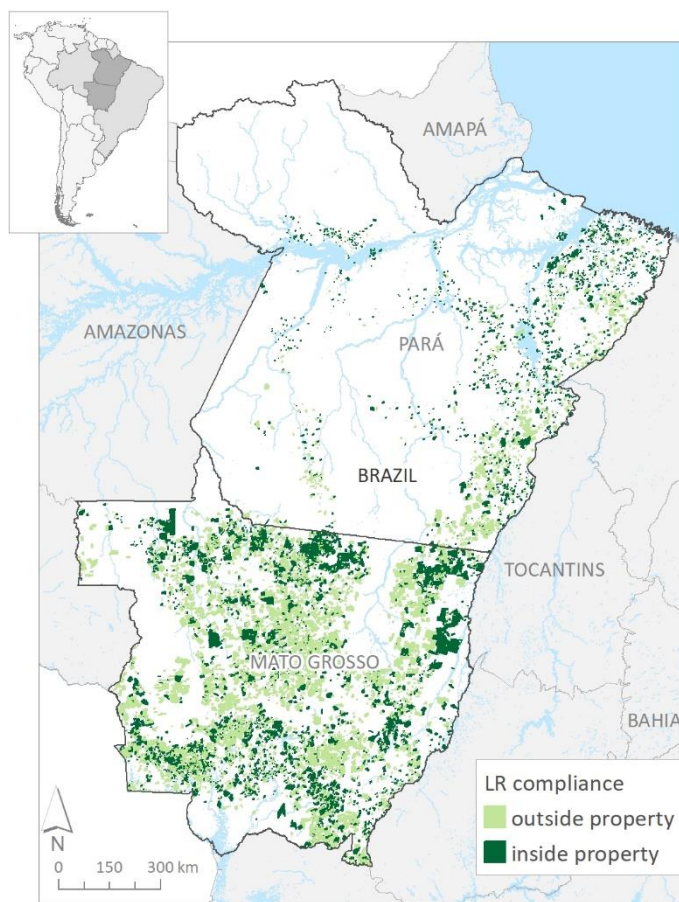


Figure 4.2. LR deficit compliance options stated in the CAR.

Most farmers in Pará stated that ‘natural regeneration’ (65% | 3,527) would be the preferred means of compliance, while ‘compensation’ is the second most voted alternative (23% | 1,265). Farmers who indicated ‘compensation’ as the preferred strategy for regularize, more often chose to purchase CRA (39% | 493) and the registration of an equivalent area of the same owner with native vegetation (38% | 475). In Mato Grosso, ‘compensation’ predominates with 52% (8,815) of farmers, mostly preferring to buy and donate to the government an area located inside protected area pending expropriation (46% | 4,089). Unlike Pará, ‘natural regeneration’ in Mato Grosso is the second most frequent response (30% | 5,135). The least cited alternative in both states is ‘tree planting’ (11% in PA and 18% in MT) (Figure S4.1).

For example, in Paragominas (Pará), farmers’ motivation for choosing compensation over restoration as renting forest land, purchasing forest land specifically for the LR compensation or using forest land they previously owned is related to: a local model for charging compensation, soil suitability for grain crops and some farmers believe it is more advantageous to buy a forest area than to rent it (Brito, 2020). Furthermore, the opportunity cost

of agricultural areas makes compensation more attractive instead of restoration (Brito, 2017, 2020; Freitas et al., 2017; Micol et al., 2013; Soares-Filho et al., 2016). In some cases, it is possible ‘that the compensation price costs only 3% of the gains in one hectare of soy crop’ (Brito, 2020, p. 5). Thus, possible the ‘farmers with forest deficits may prefer to buy a forest area instead of renting for compensation if they have enough capital to invest’ (ibid., p. 1).

Farmers wishing to adopt ‘natural regeneration’ or ‘tree planting’ as the main alternative to regularize the LR deficit declared the second choice if they were to switch to ‘compensation’ (Table S4.2). Thus, in Pará, the ‘registration of equivalent native vegetation area in another farm of the same owner’ is highlighted as first and second among farmers who stated that they would adopt ‘natural regeneration’ and ‘tree planting’, respectively. In Mato Grosso, this option is in second and third place among farmers of the same groups (Table S4.2).

If farmers adopt the measures declared in the CAR and if the declared vegetation area is considered as the basis for the PRA, ≈ 1.38 Mha is expected to be restored (in 10,672 rural properties) and ≈ 2.70 Mha (in 8,651 rural properties) offset in the states of Pará and Mato Grosso. This suggests that about 129 ha would be restored by rural properties and 312 ha demanded ‘compensation’.

4.3.2 LR compliance choice model

The probability of adherence to the PRA increases on average by 16.53% (ranging from 8.26 to 25.49%) when the farm is large (>15 FM⁴²) in relation to small (up to 4 FM). Farmers who reported not having an LR deficit are 79.51% less likely to adhere to the PRA than those who reported having an LR deficit. In addition, the estimated LR situation from the declared native vegetation area indicates that farmers with LR surplus (-41.73%) or null (-37.72%) are less likely to join the PRA compared to those with deficit of estimated RL. Legal entity⁴³ also presented a negative effect (on average -29.47%) on adherence to PRA. Nevertheless, the increase of one unit in the farmer's age increases the chance of adherence to the PRA (on average 0.29%). The odds also increase by 4.26% when the farmer has land tenure (Table 3.1). The size of the declared vegetation area had little effect on PRA adhesion. By

⁴² Fiscal Module – is a unit of measure in hectares set by Brazilian Institute of Colonization and Agrarian Reform (INCRA) for each municipality. In the state of Pará, the fiscal module varies from 5 to 75 hectares and in Mato Grosso from 22 to 100 hectares (INCRA 2013).

⁴³ When a company or organization has legal rights and responsibilities over the farm.

contrast, 'medium' category of farm size was not significant to explain the interest of farmers to participate of the environmental regularization program in Pará and Mato Grosso.

Regarding the alternatives of regularization, the adjusted model suggests that the probability of a farmer choosing compensation as the preferred strategy for LR compliance reduces by 0.63% for each increase of one unit in the farmer's age (Table 3.1). This effect is even smaller (-0.02% to -0.01%) when it comes to increasing the native vegetation area declared in the CAR. By contrast, the probability of adopting the regularization outside the farm is reduced, on average 45.85%, when land tenure. Farmers are also less likely to seek off-farm compliance when the estimated LR situation, considering the area of declared native vegetation, is surplus (-42.09%) or null (-27.93%). The probability of choosing LR compensation increases on average by 87.96% when the owner of the farm is a legal entity (Table 4.1). The chances increase even more for medium and large farms, and when the farms have a high degree of agricultural coverage.

According to Coudel et al. (2012), the reasons why farmers do not engage in reforestation are diverse, such as: lack of government incentives (financial and also technical support), lack of knowledge and have no environmental deficit, not interested or never thought about it, interested in environmental compliance on other property (compensation) and also because bureaucracy remains an important barrier. On the other hand, the motivating factors for compensation are often reported as high opportunity cost of land use and forest area with low prices in land market (Brito, 2020; Holland et al., 2016).

In terms of the discriminatory capacity, the *PRA model* has $AUC = 0.641$ and the sensitivity = specificity at 0.606, this indicates that the adjustment can distinguish about 60% of farmers who want to join the program or not. The *ALT model* has better performance, the $AUC = 0.788$ and sensitivity = specificity at 0.712. This means that the model has about 70% chance to distinguish between cases of choosing compensation (compliance outside the property) and restoration (compliance inside the property), i.e. it indicates that the model's ability to discriminate between farmers wishing to adopt an alternative of compliance outside or inside the property is not random (Figure 4.3).

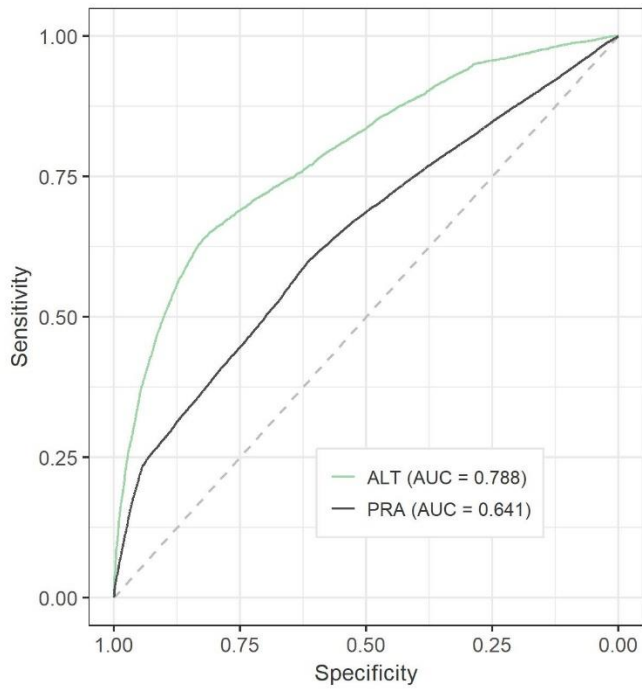


Figure 4.3. ROC curve of ALT and PRA models. AUC – area under the curve.

Table 4.1. Results of the PRA adherence (PRA model) and alternatives to regulate LR deficit (ALT model) in Pará and Mato Grosso.

| Variable | PRA Model (n = 97,782) | | | | | | ALT Model (n = 19,323) | | | | | |
|-----------------|------------------------|----------|-----|--------|--------|--------|------------------------|----------|-----|-------|-------|-------|
| | Coef. | Pr(> z) | *** | OR | CI | | Coef. | Pr(> z) | *** | OR | CI | |
| | | | | | 2.5% | 97.5% | | | | | 2.5% | 97.5% |
| (Intercept) | 2.989 | < 2e-16 | *** | 19.859 | 17.991 | 21.937 | -0.284 | 0.00018 | *** | 0.753 | 0.649 | 0.874 |
| Domain: | | | | | | | | | | | | |
| person | (base) | | | | | | (base) | | | | | |
| legal entity | -0.349 | 1.3e-13 | *** | 0.705 | 0.643 | 0.774 | 0.631 | 4.1e-10 | *** | 1.880 | 1.545 | 2.295 |
| Document: | | | | | | | | | | | | |
| property | (base) | | | | | | (base) | | | | | |
| land tenure | 0.042 | 3.6e-02 | * | 1.043 | 1.003 | 1.084 | -0.614 | < 2e-16 | *** | 0.541 | 0.498 | 0.589 |
| Age | 0.003 | 3.2e-06 | *** | 1.003 | 1.002 | 1.004 | -0.006 | 3.2e-07 | *** | 0.994 | 0.991 | 0.996 |
| LR deficit: | | | | | | | | | | | | |
| Yes | (base) | | | | | | | | | | | |
| No | -1.585 | < 2e-16 | *** | 0.205 | 0.191 | 0.220 | | | | | | |
| NA | -0.644 | 5.4e-01 | | - | - | - | | | | | | |
| Vegetation area | < 0.001 | 2.1e-08 | *** | 1.000 | 1.000 | 1.000 | < -0.001 | 4.6e-06 | *** | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| LR situation: | | | | | | | | | | | | |
| deficit | (base) | | | | | | (base) | | | | | |
| surplus | -0.540 | < 2e-16 | *** | 0.583 | 0.559 | 0.607 | -0.546 | < 2e-16 | *** | 0.579 | 0.526 | 0.638 |
| null | -0.474 | < 2e-16 | *** | 0.623 | 0.594 | 0.654 | -0.328 | 2.8e-11 | *** | 0.721 | 0.654 | 0.794 |
| Agricultural | | | | | | | 1.858 | < 2e-16 | *** | 6.410 | 5.532 | 7.445 |
| Farm size: | | | | | | | | | | | | |
| small | (base) | | | | | | (base) | | | | | |
| medium | -0.034 | 2.3e-01 | | - | - | - | 1.445 | < 2e-16 | *** | 4.240 | 3.876 | 4.640 |
| large | 0.153 | 4.9e-05 | *** | 1.165 | 1.083 | 1.255 | 1.941 | < 2e-16 | *** | 6.967 | 6.126 | 7.940 |

Significance levels (***) $p \leq 0.001$, (*) $p \leq 0.05$; OR – odds ratio; CI – confidence interval; Base – reference category adopted in the models.

4.4 Discussion

Who will regularize or not?

The adjusted model indicates that the chances of farmers adopting the PRA in Pará and Mato Grosso, increase among the older farmers, large rural property and/or those who recognize that they have an area of LR to regularize. Conversely, farmers who do not recognize having LR deficits, have small properties and/or are legal entity who have greater resistance to adhering to the PRA. Possibly farms under legal entities will regularize outside the program. In another state of the Amazon region (Rondônia), Santiago et al. (2018) also identified a greater propensity to adopt restoration plans among large landowners and those with knowledge about the requirements of the NVPL. In the state of Pará, Schons et al. (2019) identified that the size of the property reduces non-compliance with the NVPL, this indicates the compliance trend of large properties.

Although the greater resistance of farmers to adhere to the environmental regularization of rural properties is commonly expected among those who declare no, the responses of farmers are associated with the perception of pending issues to be solved (*e.g.* LR deficit), as suggested by the model. It has not yet been possible to notice the presence of farmers who declared no to the PRA (in CAR implementation) among the farmers who signed a compliance agreement (in PRA implementation) in Mato Grosso (Table S4.3), probably because the PRA is still in its early stages and, therefore, few farmers have entered. On the other hand, it was possible to observe some farmers who reported not having LR deficit signed a commitment term for compensate the LR deficit (Table S4.3), that is, non-conformities were found (in CAR validation), thus they intend to regularize even without recognizing the LR deficit in CAR implementation.

Which strategy will likely be chosen?

Our analyses indicate that the probable profile is: (i) outside the rural property (compensation) – legal entity, soybean, corn and/or cotton producers, medium and large farmers; and (ii) inside the rural property (natural regeneration or tree planting) – small farmers and land tenure. These results are in line with other studies indicating that agricultural producers will compensate for the LR deficit in view of the opportunity costs due to current land use type and/or their soil suitability for grain crops, and restoration costs (Azevedo et al., 2017; Brito,

2020; Freitas et al., 2017; Soares-Filho et al., 2016). Our results go further when we show statistical significance of farmer's profiles based on stated preference of options for LR deficit compliance, a different perspective from previous studies.

A high opportunity cost is also expected of the medium and large farmers, who possibly have profitable activities. It may cost more to restore a large area than to buy another to compensate, for example. 'The market land values indicate that deforested lands are worth on average three times more than forestlands, reaching six times more when comparing the price of low-value forest areas with deforested areas suitable for agriculture' (Brenda, 2020, p. 7). It is also common for farmers to have another farm with forest that can be used to compensate for the deficit of a productive area (Pacheco et al., 2017). Thus, it is likely that the demand for outside regularization will be greater than inside, as those farmers who would choose the restoration (small farmers) have amnesty from NVPL (Brasil, 2012) and when considering the law requirements in terms of deforestation dates, the demand for compensation (deforestation before-2008) is greater than restoration (deforestation after-2008) (Nunes et al., 2019b, 2016). Furthermore, farmers' decision to reforest is strongly influenced by their perception of the economic and ecological impacts of restoration, and the policies that promote it (Trevisan et al., 2016), which are still insufficient.

Effective regularization of the LR deficit, whether inside the rural property (allowing natural regeneration or tree planting) or outside (offsetting), has many local and regional benefits (see Ditt et al., 2010; Metzger et al., 2019; Sparovek, 2012). The first alternative is a potential ally of forest restoration, but it depends on incentives, such as policies that will induce farmers to restore (Nunes et al., 2019a; Trevisan et al., 2016). The regularization inside the property can be facilitated among the farmers with a positive perception of forests, e.g. those who do not see forest as a barrier to production and understand that it has a positive impact on the property (Alves-Pinto et al., 2017). However, this positive view does not necessarily guarantee the implementation of restoration, but it is a point that can be exploited to motivate farmers (Alves-Pinto et al., 2017). If regularization inside the property is an option that would probably be carried out by small farmers, it is important that the restoration does not affect the production of family agriculture in order not to reduce the income of these small farmers. This requires more efficient strategies than compulsory restoration and payments for environmental services (PES) which has not been very effective, e.g. agroecological practices (Trevisan et al., 2016). Nunes et al. (2019a) addressed the need for incentives for restoration that may include PES (REDD+, reforestation program), technical support and an education program that details

the direct and indirect benefits of restoration (e.g. sustainable exploitation, agroforestry systems).

In general, strategic planning for the recovery of degraded areas must be careful with competition for areas, for example, adopting an area of low agricultural productivity and a strategic location for connecting/forming green corridors (Brancalion et al., 2012; Latawiec et al., 2015; Smith et al., 2010). Likewise, investments in the recovery of degraded areas should go hand in hand with improving agricultural production (e.g. technologies for increasing productivity per area, sustainable intensification) in order to reduce/minimize the loss of commodities that may expand in other areas (e.g. conversion of forest to production areas) if demand for these commodities remains high (Alves-Pinto et al., 2017; Latawiec et al., 2015; Smith et al., 2010). The regularization outside the rural property decreases the impact of conservation on agricultural production and preserves native vegetation on private land not protected by the NVPL (i.e. surpluses that can be deforested) (Soares-Filho et al., 2016; Sparovek, 2012).

What is missing for compliance to actually happen?

Certainly, important steps still need to be taken in two ways. First of all, the government environmental agencies need: (i) to proceed with CAR validation to verify declared information and the existence of LR deficits and surplus; (ii) to define terms and procedures for implementation and monitoring of the PRA, including restoration and CRA (e.g. ecological identity); (iii) to offer technical support to small landowners; and (iv) to mobilize all farmers and require compliance, and to ensure sufficient human and technological resources to assist the demand. Second, the farmers need to engage with the compliance process and understand the benefits that conservation can bring to their properties. Another challenge is to overcome the pressure to remove LR as an institution (see Metzger et al., 2019). In view of this, there is a clear need for a strategy to promote the implementation of environmental compliance in Brazil involving all stakeholders (e.g. governments, regulatory agencies, farmers and the commodities market).

How to make conservation on private land more attractive?

Given the high costs of maintaining native vegetation in private areas are directed only at landowners, the effective monetary value assignment to standing forest could probably

reduce the effects of the cost of conversion. For this, several existing mechanisms, such as compensation and the forest carbon market, need to be disseminated and maintained. CRA has potential to reduce NVPL compliance cost (Brito, 2017; Freitas et al., 2017; Micol et al., 2013; Soares-Filho et al., 2016) and this instrument could be enhanced given the farmers' interest in compensating for the LR deficit as we have shown. For this, it is important that the compensation mechanism be disseminated among potential buyers and sellers, because it is a new issue and generates a lot of mistrust among farmers regarding its market potential and functioning (Giannichi et al., 2017; Pacheco et al., 2017; Rasmussen et al., 2017).

4.5 Conclusion

Our analyses show that farmers have good intentions to regularize the LR deficit, despite all challenges. Most of the farmers evaluated in Pará and Mato Grosso stated that they would adopt the PRA if any deficit were identified. This likely group may be composed especially of large landowners. This is good news, because resolving the irregularity of these large properties would solve a significant portion of the deficits. We also noted strong intention from farmers to compensate for the LR deficit. This further reinforces the need to design CRA's regulatory procedures and spread knowledge for successful implementation. As expected, the demand for compensation tends to come from medium and large landowners, and crop producers. Despite the declared positive intention, certainly, the farmers will not willingly fully comply with the NVPL unless a strong signal comes from the market, government and society.

5 USO DO EXCEDENTE DE RESERVA LEGAL (RL)

A vegetação é um dos principais elementos no ciclo do carbono, responsável, em grande parte, pelos processos de troca entre a atmosfera e a superfície terrestre. O elo de transferências de água, energia, carbono etc., entre a atmosfera e a litosfera, estoca carbono na forma de biomassa florestal. Entretanto, o uso da terra altera este mecanismo numa escala temporal muito mais rápida do que os processos naturais (Villela e Freitas, 2012). Em razão disso, as emissões antropogênicas de CO₂ originadas a partir da mudança de uso da terra têm aumentado. Estima-se que esse setor é responsável por quase 25% das emissões, tendo como referência o ano de 1970 (IPCC, 2007). A substituição da vegetação nativa continua ocorrendo. Na Amazônia Legal os registros históricos mostram que cerca de 446 km² de florestas foram desmatados no período entre 1988-2019, sendo que o último ano contribuiu com 2.2% do montante (INPE, 2019). Além das emissões, o desmatamento também implica em outros impactos negativos que afetam local e/ou regionalmente, como a perda de produtividade, biodiversidade e mudanças no regime hidrológico (Fearnside, 2005).

Os fatores que influenciam no desmatamento são diversos e amplamente abordados na literatura, estando relacionados, principalmente, às questões micro e macroeconômica, acessibilidade, dentre outros (Fearnside, 2005; Nepstad et al., 2014; Soares-Filho et al., 2005). No nível de propriedade, encontra-se com frequência correlação positiva entre as características biofísica, demográfica e socioeconômica dos imóveis rurais e de seus possuidores com o desmatamento e/ou o uso da terra. Rasmussen et al. (2017) identificaram que é mais provável o desmatamento ocorrer em propriedades com maior taxa de cobertura vegetal, em propriedades cujos proprietários são mais experientes com a produção agropecuária ou são mais jovens (que pode estar ligado à saúde e maiores perspectivas de retorno) e/ou recebem empréstimos agrícolas. Garrett et al. (2017) relatam que as escolhas de uso da terra estão associadas a inúmeros fatores, tais como o acesso ao crédito agrícola, programas de extensão rural, distância de cidades e região de origem do produtor rural. O artigo a seguir, concentra-se em explorar as declarações dadas no CAR para extrair as expectativas de uso do excedente de RL e discutir suas implicações e influências.

Excedente de Reserva Legal: pró-ambiente ou desmatamento anunciado? Intenções declaradas no Sul da Amazônia brasileira

Resumo

A expansão agropecuária e o desmatamento têm contribuído para as emissões de gases do efeito estufa, perda de serviços ecossistêmicos e biodiversidade. Apesar do avanço da fronteira agrícola sobre a floresta na região Amazônica, ainda existe grande volume de vegetação nativa em terras privadas e, parte dessa área pode ser desmatada legalmente. Assim, este estudo busca investigar o interesse dos produtores rurais no Mato Grosso em destinar a vegetação remanescente para usos agrícolas ou sustentáveis. Para isso, foram utilizadas as respostas do questionário do Cadastro Ambiental Rural (CAR) e estimativas da situação das propriedades em relação às exigências da Lei de Proteção da Vegetação Nativa (Lei 12.651/2012) a partir de dados de sensoriamento remoto e da biomassa média acima do solo em nível de propriedade. Foi possível observar que 88% (6 mil) dos produtores rurais identificados com excedente de Reserva Legal (RL) afirmaram que pretendem utilizar a área para “outros fins”. Hipoteticamente, se esses produtores fizerem o uso alternativo do solo, cerca de 2,5 Mha (90%) podem ser desmatados legalmente, sendo esperada uma emissão de 64.5 ou 70.8 MtC se pastagem ou agricultura. As declarações apontam para manutenção provável de menos de 10% (\approx 252 mil ha) do excedente de RL analisado com estoque médio de 62 mil toneladas de biomassa acima do solo, isso representa uma remoção <0.1 MtC por ano. Tais descobertas reforçam a necessidade de intervenções para reduzir a mudança de uso da terra, podendo as medidas, além de minimizar a perda de floresta, apoiar a regularização dos déficits ambientais.

Palavras-chave: comportamento dos agricultores, desmatamento, excedente de RL.

5.1 Introdução

O Brasil possui cerca de 2/3 de sua área total com cobertura natural, embora tenha desmatado 13% da vegetação nativa entre os anos de 1985 e 2018 (MapBiomass, 2018). Todo o território brasileiro estoca 52 Gt de carbono, sendo que 30% desse carbono está localizado em

propriedades privadas (Freitas et al., 2018) que possuem mais de 167 Mha de vegetação nativa (Freitas et al., 2017). O uso e o manejo da terra em propriedades privadas são regulados pela Lei de Proteção da Vegetação Nativa (LPVN – Lei 12.651/2012), que estabelece que uma parte da área dos imóveis rurais seja destinada à conservação e gestão sustentável dos recursos naturais e a outra parte disponível para uso alternativo (substituição da cobertura natural) (Brasil, 2012). A área de conservação é composta, principalmente, por Áreas de Preservação Permanente (APPs) que ficam situadas às margens de corpos hídricos e regiões declivosas, e Reserva Legal (RL) que é definida pelo percentual da área do imóvel, baseado na localização e tipo de vegetação (20-80%) (Brasil, 2012).

Os proprietários de imóveis rurais com área de vegetação nativa inferior ao exigido pela LPVN são detentores de déficit; já os com maior área, possuem excedente (Brasil, 2012). Na área destinada à RL é permitido por Lei somente o uso sustentável, com isso, não teria emissões por corte raso, mas, na prática, a não conformidade dos requisitos legais somam área de 11 Mha de déficit (Freitas et al., 2017). De outra parte, cerca de 101 Mha de vegetação nativa sem obrigações legais (excedente) estocam 3,4 Gt de carbono acima do solo (Freitas et al., 2018). Essa área excedente pode ser desmatada legalmente ou explorada de forma sustentável, se o proprietário assim preferir. Caso o proprietário escolha um uso que remova a vegetação, poderá ter maior rendimento, mas os benefícios ecossistêmicos serão reduzidos. Se a opção for pela manutenção da vegetação, os serviços ecossistêmicos são mantidos, mas os retornos econômicos poderão ser menores, haja vista que a maior rentabilidade média da produção agrícola no Brasil, cerca de R\$ 3.7 mil/ha (IBGE, 2018) em comparação com o provável preço de equilíbrio da Cota de Reserva Ambiental (CRA)⁴⁴, poderá chegar a R\$ 732±64 ha na Amazônia em contratos de 30 anos⁴⁵ (Rajão e Soares-Filho, 2015).

O mapeamento dos imóveis rurais é o primeiro e fundamental mecanismo para diagnosticar e monitorar a regularidade ambiental. Assim, o Cadastro Ambiental Rural (CAR), um registro eletrônico obrigatório a todos os imóveis rurais no Brasil, integra e compõe a base de informações ambientais georreferenciada dos imóveis rurais (Brasil, 2012). A partir desse cadastro, é possível identificar o déficit e o excedente de RL em nível de propriedade e gerir as obrigações ambientais. Nesse sentido, vários estudos têm estimado a situação da RL (Azevedo et al., 2015; Freitas et al., 2017; IPEA, 2011; Nunes et al., 2019b, 2016; Soares-Filho et al.,

⁴⁴ Um título representativo de área com cobertura natural que poderá ser utilizado para compensar o déficit de RL em outra propriedade (i.e., é uma espécie de “aluguel” da floresta) (Brasil, 2012).

⁴⁵ Incluindo ofertas em terras privadas, imóveis não desapropriados em área de unidades de conservação e assentamentos rurais.

2014; Sparovek et al., 2012, 2010; Stickler et al., 2013). Outros têm avaliado o potencial de mercado e de proteção da vegetação nativa na compensação via CRA (Bernasconi et al., 2016; Brito, 2017; Freitas et al., 2017; May et al., 2012; Micol et al., 2013; Soares-Filho et al., 2016). Todavia, os estudos que relatam o interesse dos produtores rurais no uso do excedente de RL ainda são incipientes e não levam em consideração os dados declarados no CAR (por exemplo, Giannichi et al., 2017; Pacheco et al., 2017; Rasmussen et al., 2017).

Estudos apontam que os usos prováveis do excedente de vegetação nativa são, principalmente, a produção agropecuária e a oferta para compensação. Na Bahia e Piauí, o número de produtores que relataram intenção de desmatar representa 36 e 41% da parcela de produtores analisados com excedente de RL nos estados, respectivamente (Rasmussen et al., 2017). Também já foi registrado o interesse dos produtores rurais em substituir a vegetação remanescente em área para cultivo no Pará e Mato Grosso (Giannichi et al., 2017; Pacheco et al., 2017). Entre as razões destacadas pelos produtores estão a falta de recursos (financeiro e trabalho), expansão da área produtiva e por não acreditarem nos mecanismos de compensação (Giannichi et al., 2017; Pacheco et al., 2017; Rasmussen et al., 2017). Há ainda relatos de interessados em ofertar títulos representativos de vegetação nativa em mercados de compensação de déficit (Giannichi et al., 2017; Pacheco et al., 2017; Rasmussen et al., 2017).

As propriedades privadas no Mato Grosso estocam 2 Pg de carbono em biomassa viva acima do solo (Richards e VanWey, 2016), sendo que uma parcela dessas propriedades possui cerca de 7.6 Mha de vegetação nativa excedente ao mínimo exigido para conservação (Soares-Filho et al., 2014). Estimativas demonstram que, embora a oferta seja maior que a demanda, a região apresenta potencial para um mercado viável de compensação de vegetação nativa (Freitas et al., 2017; Micol et al., 2013; Soares-Filho et al., 2016). Contudo, as estimativas não levaram em consideração as intenções dos produtores rurais. Para contribuir com esse debate, este estudo busca: (i) analisar as intenções de uso do excedente de RL no estado do Mato Grosso; (ii) estimar o volume provável de vegetação que será destinado à conservação e ao uso alternativo; e (iii) estimar os estoques e emissões de carbono a partir das declarações dadas no CAR. Essas explorações dos indicativos de uso da vegetação nativa em terras privadas poderão proporcionar *insights* para as políticas de regularização ambiental e de redução do desmatamento e emissões de gases do efeito estufa.

5.2 Métodos

O Mato Grosso é o terceiro maior estado brasileiro com cerca de 90 Mha localizados em área de três importantes biomas (Amazônia, Cerrado e Pantanal) e de fronteira agrícola. O estado é predominado por extensas propriedades e é um grande produtor de carne e grãos do país, sendo que parte de sua produção é exportada (IBGE, 2017).

Este estudo combinou as declarações dadas no CAR (Tabela S5.1) com as estimativas a partir de dados de sensoriamento remoto para explorar o provável destino do excedente de RL no Mato Grosso (e.g., servidão ambiental, CRA, uso alternativo)⁴⁶. Os dados do questionário do CAR⁴⁷ foram obtidos em uma cooperação com o Serviço Florestal Brasileiro (SFB, 2017b) e as geometrias de área dos imóveis rurais registrados no CAR (SFB, 2019a) foram adquiridas via plataforma de consulta pública do Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR). Por fim, foram associados aos imóveis rurais as estimativas de excedente de RL e biomassa média acima do solo (CSR/CIT, 2019). Esses dados foram processados e analisados em ambiente de sistema de informação geográfica (Esri, 2012) e computação estatística (R Core Team, 2018).

As análises tripartiram-se em: (i) estimativa do volume provável de conservação e desmatamento legal, (ii) construção do modelo de uso do excedente de RL e (iii) balanço de carbono. A primeira parte consistiu na identificação e sumarização dos usos declarados no CAR e área excedente de RL em nível de propriedade rural. Na segunda, foram testadas três opções para balanceamento de dados (*undersampling*, *oversampling* e *smote*)⁴⁸, tendo em vista que a classe minoritária (conservação) possui 12% das observações contra 88% na classe majoritária (desmatamento). Para isso, os dados foram divididos aleatoriamente em conjuntos de

⁴⁶ A servidão ambiental e a CRA são instrumentos econômicos instituídos pela Política Nacional de Meio Ambiente (Lei 6.938/1981) e pela LPVN, respectivamente. O produtor rural poderá instituir a servidão ambiental por meio de termo administrativo, firmado perante o órgão ambiental competente, limitando o uso da área definida para fins de conservação, sendo essa área excedente às exigências legais, pois não se aplica às APPs e à RL (Brasil, 2012, 1981). Por sua vez, a CRA é um título representativo de área com cobertura natural que poderá ser utilizado para compensar o déficit de RL em outra propriedade (i.e., é uma espécie de “aluguel” da floresta) (Brasil, 2012).

⁴⁷ O questionário do CAR corresponde à última etapa de preenchimento do cadastro e é composto por perguntas que visam obter informações complementares para auxiliar o órgão ambiental competente na adoção de medidas referentes à regularidade ambiental do imóvel rural (SFB, 2016).

⁴⁸ *Undersampling* – é selecionado aleatoriamente um subconjunto de amostras da classe com mais observações para corresponder ao número de amostras da menor classe. Nessa abordagem ocorre perda de informação. *Oversampling* – é duplicada ou gerada aleatoriamente amostras da classe com menos observações, possuindo risco de sobreajuste no modelo, pois é provável que seja obtido mesmas amostras do conjunto de treinamento e teste. Isso levaria a uma sobrestimação do desempenho e generalização do modelo. *Smote* (Synthetic Minority Oversampling Technique) – faz uma combinação *oversampling* da classe minoritária via criação de amostras sintéticas e *undersampling* da classe majoritária para obter um melhor desempenho do classificador no espaço ROC (Chawla et al., 2002).

treinamento e teste (respectivamente, 70 e 30% dos dados) e, em seguida, as opções de equalização e classificação via *Random Forest* foram executadas utilizando validação cruzada 10x10 por meio do pacote “caret” (Kuhn, 2020) e conjunto de variáveis descritas na Tabela S5.2. Na terceira, as emissões e remoções relativas às mudanças de estoques de carbono na biomassa acima do solo (a parte visível da árvore: tronco, folhas e galhos) da área excedente de RL foram estimadas a partir das equações adotadas no Terceiro Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa para o setor de Uso da Terra, Mudança de Uso da Terra e Florestas (LULUCF) (MCTI, 2015).

Várias transições são prováveis de ocorrer, especialmente considerando variações da vegetação, por exemplo: floresta manejada ou não, corte seletivo, floresta primária ou secundária e campo. No entanto, este trabalho considerou somente duas transições⁴⁹ para reduzir o número de análises e interpretações, bem como concentrar naquelas que são mais frequentes e/ou prováveis de ocorrerem nas propriedades rurais⁵⁰:

- (i) *Floresta não manejada para pastagem (FNM-Ap)* – considera-se a perda do estoque de carbono da floresta primária e a remoção da pastagem (MCTI, 2015).

$$E_i = A_i * (C_i - AvAp) \quad (1)$$

Ei: Emissão de carbono associada ao polígono i (tC); Ai: Área do polígono i (ha); Ci: Estoque médio de carbono da fitofisionomia do polígono i (tC/ha); e AvAp: Estoque médio de carbono em área de pastagem no respectivo bioma (tC/ha).

- (ii) *Floresta não manejada para área agrícola (FNM-Ac)* – considera-se a perda do estoque de carbono da floresta primária e a remoção da agricultura estabelecida (MCTI, 2015).

$$E_i = A_i * (C_i - RemAc) \quad (2)$$

Ei: Emissão de carbono associada ao polígono i (tC); Ai: Área do polígono i (ha); Ci: Estoque médio de carbono da fitofisionomia do polígono i (tC/ha); e RemAc: Remoção anual de carbono em área agrícola no respectivo estado e bioma (tC/ha/ano).

Para os imóveis rurais localizados em dois ou mais biomas, foi calculada a interseção e considerado aquele com maior cobertura de área dentro do imóvel para estimar as emissões e remoções de acordo com os parâmetros elencados na Tabela S5.3. A mudança de estoque de

⁴⁹ O tempo foi desprezado, tendo em vista o desconhecimento do período provável que as conversões de usos ocorrerão.

⁵⁰ Não considerado o cálculo de floresta permanecendo floresta, dado que o Terceiro Inventário considera a floresta manejada permanecendo floresta manejada somente para unidades de conservação e terras indígenas.

carbono na biomassa acima do solo, a partir de escolhas de usos prováveis, foi analisada em dois cenários: o primeiro (declarado) considerou as alternativas declaradas no CAR, isto é, aqueles produtores que declararam uma das opções voltadas para a conservação (e.g., CRA, servidão ambiental) manterão a floresta em pé, com ou sem exploração não madeireira e/ou manejo de madeira sustentável; e os demais produtores que declararam o uso do excedente para “outros fins” adotariam usos alternativos (aqui considerados como pecuária e agricultura) ou manutenção da floresta (conservação). No segundo (voluntário), supôs-se que todos os produtores substituirão a vegetação nativa excedente de RL por pastagem ou agricultura, ou ainda, não realizarão a conversão de uso.

Para validar a existência de excedente de RL declarada no CAR, foram cruzadas as respostas dos produtores rurais com as estimativas do Código Florestal no nível de propriedade por meio de dados de sensoriamento remoto. Desse modo, foi possível identificar que embora cerca de 13% (10,709) dos produtores declararam possuir excedente de RL, não foi detectado área de vegetação maior que o mínimo exigido para a RL em uma parcela de 36% (3,847) desse grupo (Tabela S5.4). Para tanto, as análises são referentes ao conjunto de dados cujas declarações de excedente estão em concordância com as estimativas ($n = 6,862$).

5.3 Resultados

5.3.1 Indicativos de uso do excedente de RL

Cerca de 84% (5,758) dos imóveis rurais analisados possuem até 500 ha de excedente de RL, sendo que a maior porção do grupo (62% | 3,557) apresenta no máximo 20% dessa área (100 ha). Por outro lado, apenas 1% (67) dos imóveis tem mais de 10x (5 mil ha) a área excedente da maioria dos imóveis analisados (Figura 5.1, centro). Em termos de biomassa acima do solo, 65% (4,447) dos imóveis rurais estocam até 100 t/ha em média, dos quais 76% (3,379) possuem estoque médio de até metade desse volume (50 t/ha). A biomassa dos demais imóveis variam entre 100-200 t/ha e somente uma pequena parcela (<1%) das propriedades ultrapassa as 200 t/ha (Figura 5.1, direita).

Quanto às alternativas de uso, mais de 88% (6,025) dos produtores rurais declararam que pretendem utilizar o excedente (estimado em $\approx 2,5$ Mha) para outros fins (Tabela 5.1 e Figura 5.1, esquerda). Entre as opções voltadas para a conservação da vegetação nativa, a servidão ambiental foi a resposta menos frequente (<1%) e a utilização da área excedente para

compensação do déficit de RL em outro imóvel de mesma titularidade foi a alternativa mais frequente (8%). A CRA recebeu um pouco mais de 2% das intenções de uso e a disponibilização da área para compensação de RL por meio de arrendamento aparece com 1.5% (Tabela 5.1). Embora o número de produtores que assinalaram o arrendamento seja 3 vezes maior que a servidão ambiental, a área total excedente no último grupo é 30% maior do que no primeiro.

Tabela 5.1. Preferência declarada dos produtores rurais pelo uso do excedente de RL no Mato Grosso.

| Alternativas | Imóvel rural | | Excedente de RL | | Biomassa |
|--|--------------|-------|-----------------|-------|----------|
| | n | % | ha | % | t |
| Constituir servidão ambiental (SA) | 34 | 0.50 | 18,910 | 0.69 | 2,064 |
| Disponibilizar para compensação de RL mediante arrendamento (AR) | 105 | 1.53 | 14,237 | 0.52 | 7,324 |
| Emitir Cota de Reserva Ambiental (CRA) | 154 | 2.24 | 73,918 | 2.68 | 12,176 |
| Utilizar em outro imóvel de mesma titularidade que possua déficit (CI) | 544 | 7.93 | 145,131 | 5.26 | 40,757 |
| Utilizar para outros fins (OF) | 6,025 | 87.80 | 2,507,430 | 90.86 | 443,509 |
| Total | 6,862 | 100 | 2,759,627 | 100 | 505,830 |

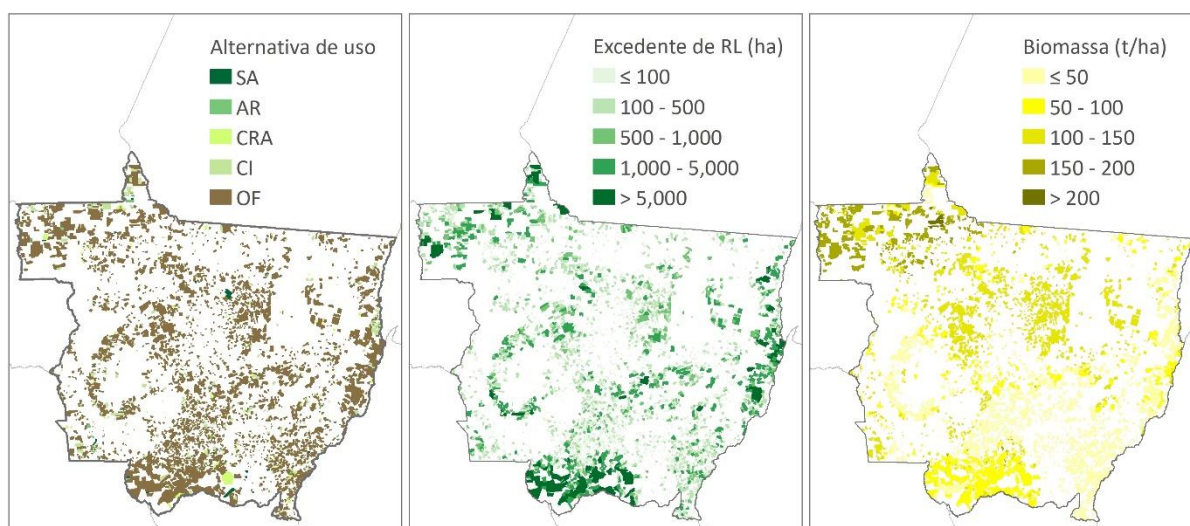


Figura 5.1. Alternativas de uso do excedente de RL declaradas no CAR, área de excedente de RL e volume de biomassa média acima do solo estimados no estado do Mato Grosso. SA – Servidão ambiental; AR – Arrendamento; CRA – Cota de Reserva Ambiental; CI – Compensar outro imóvel; OF – Outros fins.

5.3.2 Conservação vs. desmatamento legal

O número de produtores rurais que provavelmente escolheriam a supressão da vegetação nativa para uso alternativo (desmatamento) é sete vezes maior que aqueles que optariam por manter a floresta (conservação). Em ambos os casos, a maioria dos imóveis rurais (desmatamento – 70% | 4,205 e conservação – 68% | 565) possui até 30% da área total com cobertura vegetal nativa. Em relação ao bioma, mais de 50% dos imóveis rurais estão localizados no Cerrado (Figura 5.2).

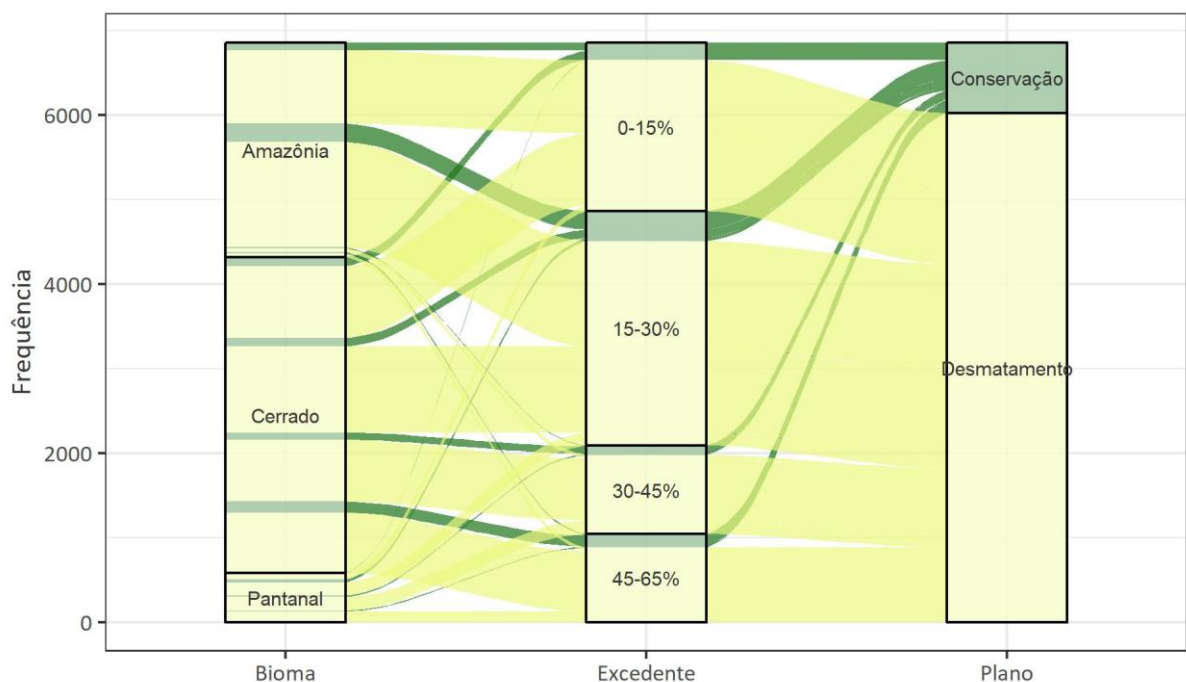


Figura 5.2. Provável destino do excedente de RL por bioma e percentual de tamanho em relação à área do imóvel.

A opção “outros fins” declarada no CAR pode envolver desde “não fazer nada” com o excedente até o “uso alternativo”, ou seja, os produtores rurais poderão deixar a floresta em pé sem atribuir nenhum uso direto ou converter o excedente em agropecuária, por exemplo. Isso significa que aproximadamente 2,5 Mha de vegetação nativa podem ser desmatados legalmente, atingindo uma perda provável de ≈ 443 mil toneladas de biomassa média acima do solo. Caso isso ocorra (cenário declarado), é estimada uma emissão líquida por mudança de uso da terra de aproximadamente 64.5 MtC (transição de vegetação nativa para pastagem) ou 70.8 MtC (transição de vegetação nativa para área agrícola).

As indicações de usos voltados para a conservação da vegetação nativa apontam para manutenção provável de menos de 10% (≈ 252 mil ha) do excedente de RL analisado com

estoque médio de ≈ 62 mil toneladas de biomassa acima do solo. Em contrapartida, se todos os produtores rurais fizerem a conversão da cobertura natural (cenário voluntário), é esperado que as emissões líquidas girem em torno de 70.8–77.8 MtC (Tabela 5.2).

Tabela 5.2. Emissões e remoções de carbono na biomassa viva a partir de usos prováveis do excedente de RL.

| Cenário | Escolha | Emissão | | Remoção | | Emissão líquida |
|------------|--------------|---------|-------|---------|---------|-----------------|
| | | n | MtC | n | MtC | MtC |
| Declarado | Outros fins: | | | | | |
| | Pecuária | 6,000 | 64.49 | 25 | < -0.01 | 64.48 |
| | Agrícola | 6,016 | 70.83 | 9 | < -0.01 | 70.82 |
| Voluntário | Pecuária | 6,824 | 70.84 | 38 | -0.013 | 70.83 |
| | Agrícola | 6,848 | 77.81 | 14 | < -0.01 | 77.81 |

Ao comparar o desempenho das predições de usos do excedente de RL é possível notar que os modelos possuem valores de área abaixo da curva (AUC) ROC bem próximos (Figura 5.3, esquerda), sendo o *oversampling* o que apresenta melhor resultado (0.61). Esse modelo apresenta uma taxa de discriminação de aproximadamente 57% entre produtores rurais que adotariam medidas de conservação ou desmatamento para uso do excedente de RL. Embora o modelo utilizando *smote* tenha resultado em maior acurácia (0.80), sua sensibilidade é baixa (0.20) (Figura 5.3, direita), acertando apenas 20% dos produtores rurais no conjunto de teste que declararam adotar usos conservacionistas. No modelo *undersampling* a taxa de verdadeiros positivos (conservação) foi de 59%, ao passo que a taxa de verdadeiros negativos (desmatamento) foi de 53% (Figura 5.3, direita). Os dois últimos modelos citados, tiveram menores taxas de discriminação entre conservação e desmatamento.

As variáveis com *feature importance*⁵¹ >40% no modelo de classificação via *Random Forest* que resultaram em maior AUC foram: documento do imóvel rural do tipo posse, biomas Cerrado e Pantanal e porcentagem de excedente entre 15-30% da área do imóvel (Figura 5.4). As classes de pequenos imóveis rurais (até 4 MF) e idade entre 30-45 anos apresentaram *feature importance* de 20-40%, ao passo que as demais variáveis testadas ficaram abaixo de 20%.

⁵¹ Apresenta a contribuição relativa das variáveis para a tomada de decisão do algoritmo.

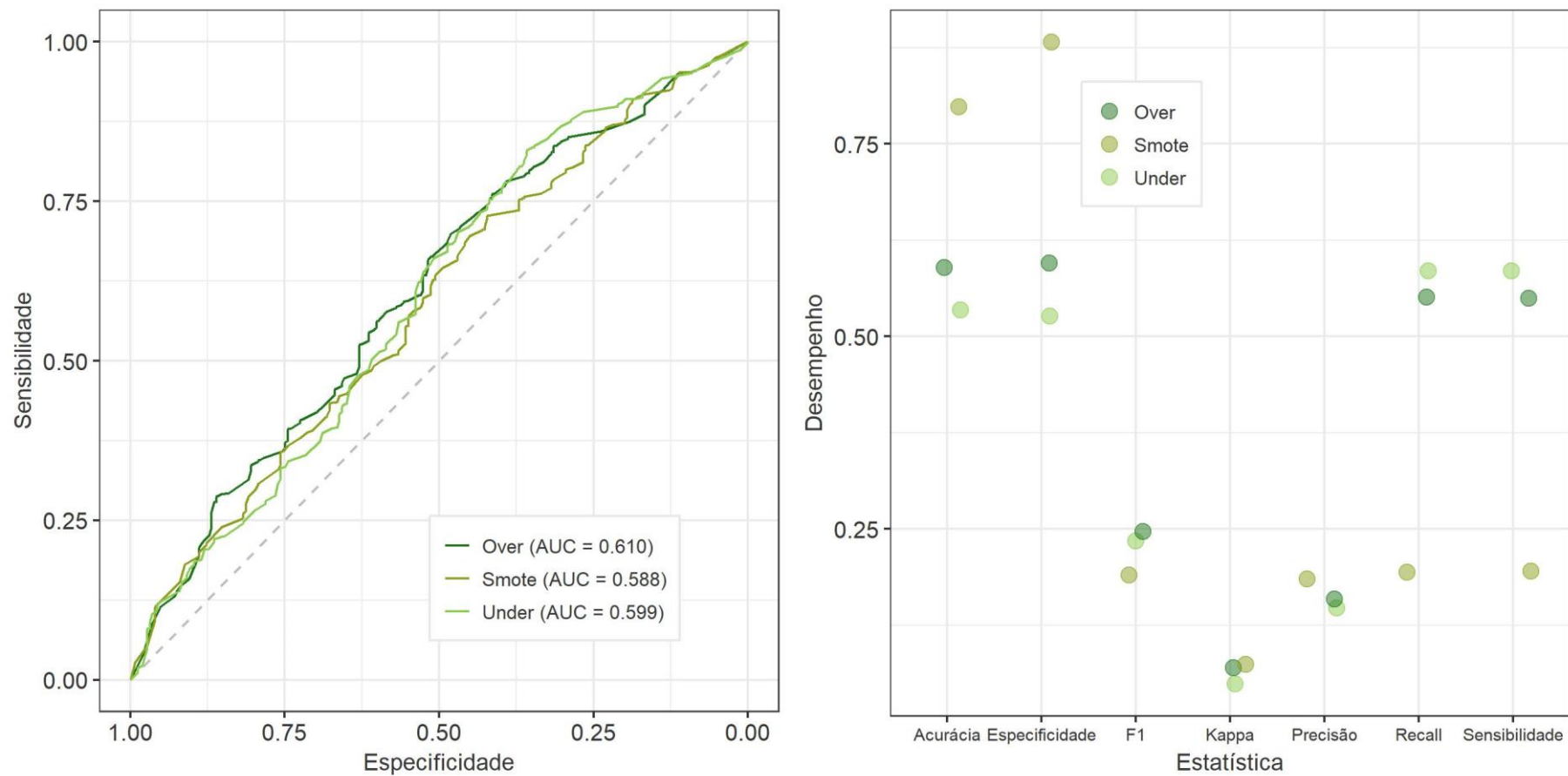


Figura 5.3. Curva ROC (esquerda) e estatísticas de desempenho (direita) dos modelos *random forests* ajustados para o uso do excedente de RL no Mato Grosso. AUC – area under roc (receiver operating characteristic) curve.

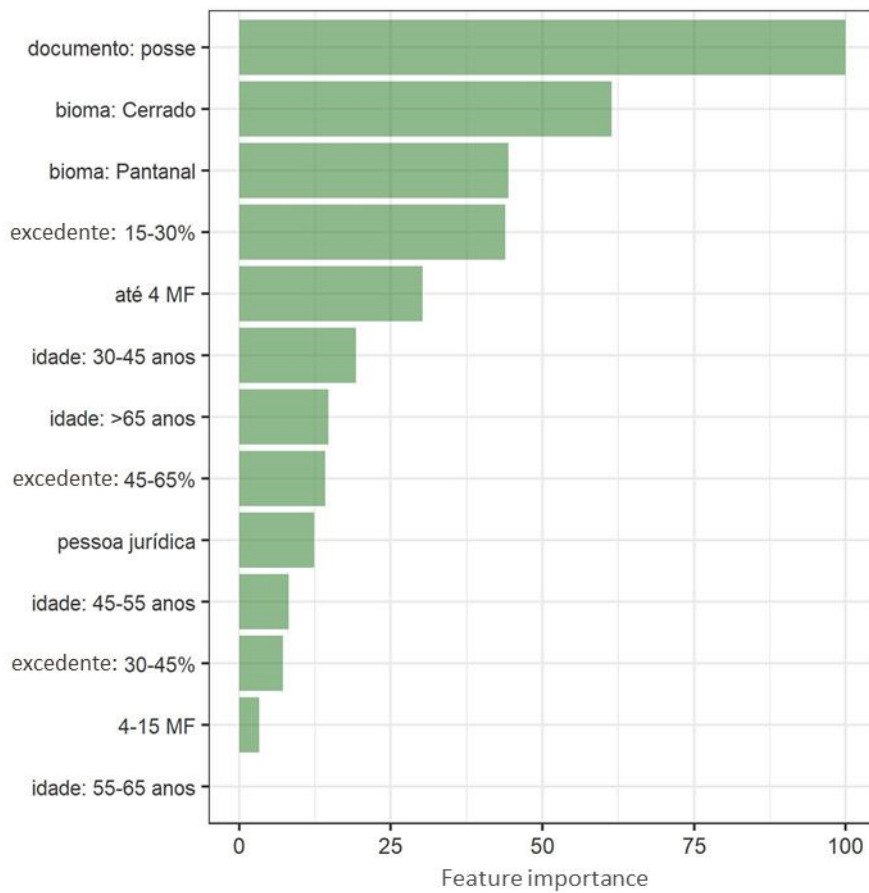


Figura 5.4. *Feature importance* das variáveis para o ajuste do modelo *oversampling*.

5.4 Discussão e conclusão

As declarações de uso do excedente de RL no Mato Grosso indicam que há um predomínio de produtores rurais (88%) com intenção de seguir com a consolidação da área, o que não é diferente dos registros históricos de desmatamento que persiste na região (INPE, 2019). Esses resultados vão ao encontro com outros estudos que também identificaram relatos de produtores que pretendem desmatar a vegetação que excede às exigências legais para expandir a área produtiva (Giannichi et al., 2017; Pacheco et al., 2017; Rasmussen et al., 2017). Estima-se que mais de 2 Mha de remanescente de vegetação nativa, em área dos biomas Amazônia e Cerrado, possuem risco potencial de desmatamento no Mato Grosso. Caso isso ocorra, a agropecuária ganhará um reforço na produção, mas as emissões serão potencializadas com uma carga de mais 60 MtC. É notável a necessidade de se regulamentar e potencializar o mercado de compensação florestal no intento de reduzir a conversão de vegetação e induzir a regularização de áreas já consolidadas, pois a mudança de uso da terra poderá, além de

implicações no aumento das emissões, alterar o regime hidrológico, afetar a biodiversidade e a prestação de serviços ecossistêmicos (Joly et al., 2019; Lima et al., 2014; Malhi et al., 2008).

O baixo interesse (12%) pela manutenção da floresta em pé (e.g., servidão ambiental e CRA) no Mato Grosso pode estar ligado a diversos fatores. Estudos têm relatado custo de oportunidade da conservação⁵² (Campos e Bacha, 2019, 2013; Stickler et al., 2013); a valorização da terra (Holland et al., 2016; Rivero et al., 2009); e condições difundidas de estresse social combinadas às experiências de processos legais contraditórios, incluindo discursos jurídicos inconstantes e aplicação inconsistente da Lei (Schmidt e McDermott, 2014). Entretanto, as políticas públicas relacionadas às intervenções nas cadeias de fornecimento de soja e carne bovina, restrições do acesso ao crédito e expansão de áreas protegidas podem causar impacto positivo na redução do desmatamento como têm apontado alguns estudos (Arima et al., 2014; Nepstad et al., 2014; Nolte et al., 2013). A distinção entre os produtores rurais interessados em medidas de conservação e uso alternativo (desmatamento) do excedente de vegetação nativa está ligada às características do imóvel rural, principalmente se posse ou propriedade, localização, tamanho do imóvel e do excedente. Tais atributos com maior importância na classificação apontam que possivelmente a maioria do excedente conservado tende ser originado de pequenos remanescentes florestais, pequenas propriedades e/ou posse. Aliado a isso, os dados declarados mostram que cerca de 68% dos produtores que possuem mais 30% da área de seus imóveis com excedente de RL e declararam opções de conservação irão utilizar esse excedente para compensar outro imóvel de mesma titularidade. Além disso, mais de 50% desse grupo (com >30% de excedente e pretendem conservar a área) são de pequenas propriedades.

Ao contrário das observações na Bahia e Piauí, em que apenas um respondente pretende usar a CRA para comercializar o excedente de vegetação nativa (Rasmussen et al., 2017), os resultados deste estudo indicam que 154 (2%) produtores rurais no Mato Grosso adotariam essa modalidade. Isso pode estar relacionado à disseminação dessa alternativa de compensação no estado, já que é um expressivo produtor agropecuário para exportação e é um dos pioneiros no processo de regularização ambiental. Essa suposição é reforçada quando se observa que os relatos que justificam a falta de interesse dos produtores baianos e piauienses em aderir a CRA foram a falta de conhecimento sobre o sistema e como utilizá-lo (Rasmussen et al., 2017). O relato de baixo conhecimento sobre esse mecanismo de compensação também

⁵² Embora a conservação proporcione serviços ecossistêmicos diretos e indiretos aos sistemas produtivos e as mudanças nos padrões ambientais (e.g., ausência/excesso de chuva) afetam substancialmente as receitas da propriedade, eles não entram na contabilidade.

foi consensual entre produtores rurais entrevistados por outros estudos (Giannichi et al., 2017; Pacheco et al., 2017).

A diferença aqui identificada entre o número de interessados em opções voltadas para a conservação e para o desmatamento provável, pode estar ligada tanto à atratividade percebida pelos produtores rurais, relativa as opções elencadas no questionário, quanto aos vieses que são inerentes ao formulário e às circunstâncias das declarações. De uma parte, a estruturação e/ou formulação das questões e a construção das categorias de resposta; de outra, a obliquidade de desejabilidade social e de aquiescência dos produtores rurais podem ter influenciado as declarações de uso do excedente. O formulário apresenta quatro alternativas de conservação contra uma que suporta a interpretação de inclusão do desmatamento, o que poderia caracterizar um viés conservacionista. Contudo, as alternativas são específicas e é provável que sejam desconhecidas por quase todos ou pela maioria dos produtores rurais. A outra opção é genérica o suficiente para mascarar possível receio de resposta “contrária” ao que seria desejado/esperado dar para um órgão ambiental. Logo, conjectura-se que as afirmações sobre “outros fins” sejam mais seguidas do que as afirmações referentes à conservação.

6 CONCLUSÃO E IMPLICAÇÕES

6.1 Circunstâncias da implementação da LPVN

Lacunas entre a definição e a conformidade das leis ambientais (hiato entre a “lei no livro” e a “lei em ação”) são realidades frequentes (Farber, 1999). Esses desencontros resultam, muitas vezes, em esforços para atacar, ignorar ou reformar o processo de regulamentação e implementação das leis, definido por Farber (1999) como “deslizamento negativo” e “deslizamento positivo”. O primeiro é uma característica da lei ambiental tão onipresente que a tomamos como certa: algo que é legalmente exigido simplesmente não acontece (i.e., os prazos não são cumpridos, os padrões são ignorados). No segundo, os padrões exigidos são renegociados em vez de ignorados (Farber, 1999). Isso nitidamente aconteceu com o CF, que foi pouco aplicado e, depois, passou por reforma que flexibilizou os requisitos de conservação da vegetação nativa em pequenas propriedades e aprovou alternativas extrapropriedade para a regularização das pendências de RL. As alterações provavelmente resultam em maiores benefícios ecológicos, se considerarmos que a restauração das áreas consolidadas em uso agrícola (43 Mha de RL) poderia induzir ao desmatamento de outras áreas (Sparovek et al., 2012, 2011). Se os impactos da conversão da vegetação nativa são imediatos e podem ser difíceis de reverter, de outro, o restabelecimento da vegetação por meio do plantio pode levar muito tempo para atingir os valores ecológicos comparáveis aos de locais preservados (Sparovek et al., 2012, 2011). Todavia, a existência da LPVN, por si mesma, não é indício de cumprimento por parte dos produtores rurais.

Uma questão que agrega resistência ao atendimento dos requisitos da LPVN é a assimetria acentuada na Amazônia Legal em relação ao restante do país, tanto na conservação em terras privadas, derivadas dos percentuais estabelecidos (80 ou 50% em área de floresta), quanto em terras públicas definidas por UCs e TIs. Essa discrepância provoca concepções de desigualdade e resistência entre os produtores rurais na Amazônia. No entanto, esse argumento é invalidado quando se considera as APPs, que são áreas menores⁵³ e, ainda assim, também possuem altos percentuais de déficit, como apontam alguns estudos (Nunes et al., 2019a, 2019b; Soares-Filho et al., 2014; Sparovek et al., 2012). Muitas vezes, a ausência da APP é justificada

⁵³ As APPs dependem da presença de cursos d'água e inclinação de morros, diferentemente da RL que é baseada no percentual da área da propriedade, tipo de vegetação e região de localização do imóvel rural.

pela utilização do solo fértil⁵⁴ às margens de rios e córregos para produzir, também o acesso dos animais à água. Da mesma forma, a RL em imóveis rurais fora da Amazônia Legal deveria ser facilmente cumprida, dado o baixo percentual (20%). Ainda assim, estudos estimaram alta concentração de déficit, especialmente no Sul e Sudeste do país (Soares-Filho et al., 2014; Sparovek et al., 2012). Em um segundo momento, espera-se que os proprietários dessas regiões tenham menor resistência em regularizar o déficit do que os localizados na Amazônia, seja compensando ou restaurando áreas de baixa produtividade.

Outro ponto frequentemente adotado para justificar a não conformidade é a desconfiança no efeito da conversação. Em geral, existem três grupos de indivíduos com perfil mais ou menos extremista: (i) os que acreditam na conservação e em suas implicações local, regional e global (diriam: “floresta? Adoro!”); (ii) os que definitivamente não acreditam – por estes, se toda Floresta Amazônica fosse devastada, não teria efeito algum no clima, na biodiversidade etc. (diriam: “vejam a Mata Atlântica!”); (iii) e os que são indiferentes ao tema. Evidentemente, os dois últimos tipos são mais frequentes e o primeiro pode ainda ser segmentado entre aqueles que acreditam e fazem, e os que não acreditam e não fazem. Nessa perspectiva, ainda que a produção e a conservação que, não raramente, são contrárias, seja um desafio, o equilíbrio é imprescindível. De um lado, uma paisagem protegida não proporciona produção agropecuária e, de outro, o monopólio da agropecuária reduz os serviços ecossistêmicos que poderá ser insustentável ao longo dos anos (Metzger et al., 2019).

O esforço de implementação da LPVN resultou, atualmente, em 5.7 milhões de imóveis rurais registrado no CAR com área total cadastrada de 548 Mha (SFB, 2020b). No entanto, esses dados ainda precisam ser validados para garantir a veracidade das declarações e resolver conflitos com áreas restritas. Assim, a frase “faça bem feito para não ter retrabalho” se encaixa bem no contexto do CAR, já que há inconsistências no cadastro que precisam ser avaliadas. Mas como fazer bem feito? No Pará, quando o CAR era registrado no Sistema Integrado de Monitoramento e Licenciamento Ambiental (SIMLAM), exigia-se o registro de um profissional da área, mas isso não isentou o Estado do trabalho de analisar os cadastros⁵⁵. Se um dos objetivos do CAR era ter o limite do imóvel mapeado juntamente com os atributos ambientais (e.g., cursos d’água, vegetação), na prática, esse diferencial (em relação ao registro no INCRA) não foi bem-sucedido, porque as declarações podem não estar corretas. Então, no

⁵⁴ A remoção da vegetação nativa, que protege essas áreas, desencadeia perda da camada orgânica, lixiviação, desmoronamento, compactação etc.

⁵⁵ Os cadastros não analisados/validados eram definidos como “declaratório” e os analisados/validados como “definitivo”.

final das contas, vale perguntar se o saldo é de tempo, esforço e dinheiro gasto com algo que precisa ser conferido. Em contrapartida, o registro com precisão geoespacial a nível de INCRA depende de alto investimento financeiro e tempo. Nesse caso, será que não valeria a pena o mapeamento ambiental ter sido feito a partir de imagens de alta resolução espacial, considerando os limites dos imóveis no INCRA? A resposta poderia ser facilmente um “sim”, se não envolvesse outros fatores como a baixa cobertura dos dados do INCRA que até hoje não contempla todos os imóveis rurais mapeados. O prazo de exigência do georreferenciamento dos imóveis rurais já foi prorrogado várias vezes⁵⁶ e sequer avançou em nível acelerado como o CAR, devido às suas particularidades.

No presente estudo, foi possível observar diversos níveis de inconsistências nos limites de 78 (96.932) e 86% (86.465) dos imóveis rurais registrados no Pará e Mato Grosso, respectivamente. Todavia, mais da metade deles (59% no Pará e 69% no Mato Grosso) apresentam percentual de sobreposição considerado tolerável, isto é, até 3, 4 ou 10% da área de pequenas, médias e grandes propriedades, respectivamente. Assim, o esforço dos técnicos encarregados de analisar e validar o CAR nas SEMAs⁵⁷ poderá ser concentrado em uma porção reduzida de cadastros. Outro ponto que demandará uma carga extra de trabalho será a identificação de imóveis que possivelmente foram subdivididos em n cadastros. Um total de 5.925 (13%) registros no SIGEF/INCRA são cobertos por 5,7x mais registros no CAR (3.838 | 15%), isto é, cada SIGEF possui múltiplos centroides de CAR. Em caso de cadastros estratégicos, estes poderão ser um problema, na medida que se enquadrarem em tamanhos que possibilitam o benefício da redução e/ou isenção da restauração. Assim, o conhecimento gerado neste estudo contribui com a literatura (L’Roe et al., 2016; Laudares et al., 2014; Roitman et al., 2018) que aborda a situação cadastral do CAR e agrega diferencial aos existentes ao analisar os dados declarados e comparar com outros previamente existentes e/ou estimados via sensoriamento remoto.

O diagnóstico e o monitoramento da conservação em nível de propriedade foram, em tese, demandas atendidas com o CAR. Apesar de os problemas existirem, sendo que parte deles (sobreposição entre imóveis rurais) pode ser resolvida estrategicamente (como mostrado no artigo I, seção 3), os dados do CAR são relevantes e nunca antes mapeados. O fato é que agora é fácil supor que a alternativa não adotada poderia ter tido maior ganho, já que se pode verificar as limitações da atual e avaliá-la. Mas uma coisa pode ser dita sem adotar partido e sem fazer

⁵⁶ Alterações em 2005, 2011 e 2018. Decreto 4.449/2002 que regulamenta a Lei no 10.267/2001. <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4449.htm>

⁵⁷ Secretaria Estadual de Meio Ambiente.

juízos de escolhas: a cooperação entre os diferentes órgãos estatais, dadas as diversas áreas de atuação, poderia e pode acrescentar benefícios ao mapeamento e regularização ambiental rural. Por exemplo, o INCRA, responsável pelo fundiário; o SFB, com a agenda florestal; o MAPA e o MMA⁵⁸ articulando a produção e sustentabilidade; a ANA⁵⁹ com o mapeamento hidrográfico; a EMBRAPA⁶⁰ e a EMATER⁶¹ com a restauração; e o INPE com o sensoriamento remoto. Atualmente, essa perspectiva tem sido parcialmente seguida, já que o SFB (órgão gestor do CAR em nível federal) tem parceria com o MAPA e a Embrapa territorial na agenda do CAR.

Se o CAR levou cerca de oito anos para atingir um alto nível de cobertura e de fato iniciar as análises e validação (ainda que estagnadas na maioria dos estados), o PRA tende a ser mais demorado, pois envolve um volume maior de questões a ser considerado e, vale lembrar, o processo ecológico de restauração leva maior tempo. Para potencializar e efetivar o cumprimento do PRA, diversas questões estratégicas precisam ser avaliadas, como a compensação em áreas com riscos de desmatamento potencial (e.g., excedente de RL em fronteira agrícola) e a restauração de APPs (hídricas e de topo de morro). No primeiro caso, poderá ser estimulado e/ou priorizado geograficamente a negociação de CRA nos 101 Mha de vegetação nativa desprotegida⁶², por exemplo (Freitas et al., 2017). Isso evitaria o desmatamento legal de excedentes de RL em terras privadas e fortaleceria o mercado de CRA (Freitas et al., 2017), que até então é um discurso e poderá ser afetado pelo desequilíbrio entre a oferta e a demanda potencial de áreas para a compensação⁶³, mesmo considerando restrições de negociações (bioma e/ou estado) (Freitas et al., 2017; Soares-Filho et al., 2016).

A escolha do produtor rural em termos de conservação e/ou regularização ambiental pode ser relacionada pelo contexto legal e local, menor custo percebido e aceitação, entre outros fatores. Assim, para identificação de possíveis caminhos na condução da regularização ambiental de propriedades rurais é oportuno explorar os pormenores da intenção dos produtores. A melhor maneira de descobrir se os produtores rurais com déficit ambiental irão regularizar e os com excedente irão conservar é perguntando o que eles pretendem fazer. Nesse sentido, o artigo II (seção 4) apontou que cerca de 74 (18.580) e 84% (61.079) dos produtores rurais no Pará e Mato Grosso (que responderam o questionário do CAR) possui intenções de

⁵⁸ Ministério do Meio Ambiente.

⁵⁹ Agência Nacional de Águas.

⁶⁰ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

⁶¹ Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural.

⁶² Cerca de 44 Mha estão localizados no Cerrado, 35 Mha na Caatinga e 10 Mha na Amazônia (FREITAS et al., 2017).

⁶³ Na medida em que é esperada uma redução nos preços de cotas ofertadas devido ao grande volume, gerando assim, dúvidas em relação a renda/remuneração relevante para os produtores rurais que conservaram a vegetação nativa (Freitas et al., 2017).

aderir ao PRA, caso seja identificado pendências em relação às exigências da LPVN. Cerca de 45% (10.080) dos produtores declararam preferência para modalidades de regularização extrapropriedade (compensação), sendo os adotantes mais prováveis os grandes e médios proprietários e os produtores agrícolas. Entre as opções de compensação mais citadas estão a doação ao Poder Público de área localizada no interior de UC pendente de regularização fundiária (42%) e o cadastrato de área equivalente de mesma titularidade (20%). Assim, este estudo amplia a literatura (Coudel et al., 2012; Pacheco et al., 2017; Santiago et al., 2018; Schons et al., 2019; Trevisan et al., 2016) voltada para a percepção e adesão da regularização ambiental de propriedades, indo além dos estudos existentes ao considerar um grande volume de dados, até então não explorado, referente às intenções declaradas no CAR.

O quão bem as intenções preveem o comportamento? Será que produtores rurais realmente adotarão as opções declaradas? No âmbito da regularização ambiental de imóveis rurais aqui estudado, ainda não é possível comparar as intenções aos comportamentos (análise *ex post*), pois as declarações dos produtores são para quando o PRA for implementado. Até lá, as análises *ex ante* são vitais para analisar potenciais problemas e planejar as estratégias de implementação. O uso de estrutura conceitual e/ou modelos para representar e/ou categorizar grupos de interesse em adotar a regularização ambiental é uma abordagem generalista que perde informação ao longo do percurso. Todavia, apesar da abstração dos modelos em relação ao sistema real, é um importante ponto de partida para estudar o fenômeno, considerando os aspectos mais relevantes disponíveis.

Também foi possível mostrar (artigo III, seção 5) que 88% (6.025) dos produtores rurais no Mato Grosso pretendem utilizar o excedente de RL (2,5 Mha) para “outros fins”. Assumindo hipoteticamente que “outros fins” envolve a pecuária e/ou agricultura, é provável que seja emitido entre 64 a 70 MtC. Apenas um pequeno grupo (12% | 847) pretende conservar a área excedente, dos quais 65% (544) planejam utilizar em outro imóvel de mesma titularidade para compensar o déficit de RL e outros 18% (154) gostariam de oferta CRA. Por fim, a presente tese colabora com a temática de conservação da vegetação nativa em propriedades privadas ao apresentar os interesses dos produtores rurais no uso do excedente de RL, acrescentando à literatura (Deadman et al., 2004; Garrett et al., 2017; Giannichi et al., 2017; Pacheco et al., 2017; Rasmussen et al., 2017) perspectivas de área de vegetação com potencial de transição e emissões de carbono dado possíveis cenários de ação dos produtores rurais.

Os pontos avançados com esta pesquisa oferecem possibilidades reais para aplicação nas políticas públicas de implementação da LPVN, como destacado na seção seguinte, pois as análises aqui realizadas podem ser consideradas uma “micro simulação” das análises que os

Estados farão. Com isso, espera-se que os apontamentos feitos servirão para antecipar problemas e possíveis direções no processo de análise e validação do CAR e implementação do PRA, uma vez que o processamento e análise dos dados cadastrais e geoespaciais do CAR combinados a outros dados geram inteligência geográfica para conduzir a gestão agroambiental.

6.2 Recomendações para avançar na regularização e conservação ambiental em terras privadas

As análises realizadas nesta tese indicam oportunidades de aplicação nas ações de implementação da LPVN, em especial na análise do CAR e execução do PRA. Os principais mecanismos identificados podem ser estrategicamente a:

- (i) realização de análises automatizadas de todos os cadastros e segmentação daqueles com alto percentual (e.g., maior que 3, 4 e 10%) de sobreposição com outros imóveis e áreas restritas (UC, TI e áreas embargadas pelo IBAMA) para análise mais detalhada, seja em conjunto (semiautomática) ou individualmente (manual) para verificar as exceções;
- (ii) identificação das potenciais origens do elevado grau de sobreposição, tais como a atualização/retificação de cadastros, existência de um mesmo imóvel registrado por vários sócios etc. (e.g., conferindo via domínio e data de registro);
- (iii) priorização de cadastros na fila de análise, por exemplo, os exportadores de *commodities*, as médias e grandes propriedades e os que possuem déficit de RL;
- (iv) os cadastros da agricultura familiar e de povos e comunidades tradicionais poderiam ser analisados em mobilização local, onde todos os proprietários de terras de uma determinada área são convidados a tentar discutir e resolver coletivamente problemas de sobreposição e declaração de vegetação nativa, ao invés de agir individualmente, enviando notificações por *e-mail* para pequenos agricultores que muitas vezes não têm acesso à internet;
- (v) uso de outras bases oficiais (e.g., uso da terra, desmatamento, registros no INCRA), quando existentes, para comparar os dados de vegetação e limites declarados; e

- (vi) formação de parcerias (e.g., ministério público, órgãos especialistas de áreas afins – INCRA, ANA, EMBRAPA, MAPA, universidades públicas) para levantar recursos financeiros, mão de obra e infraestrutura visando agilizar a validação do CAR.

Os diagnósticos apresentados sugerem que exista uma inter-relação entre o envolvimento dos produtores rurais e a capacidade potencial (entendida como o cultivo agrícola e o tamanho da propriedade) de adotar a regularização extrapropriedade. Outro fator que também merece destaque é o de que, muitas vezes, a falta de interesse do produtor rural em uma modalidade de conservação, que poderá em certo nível ter retornos financeiros (e.g., CRA), provém da falta de conhecimento, como alguns estudos já relataram (Giannichi et al., 2017; Pacheco et al., 2017; Rasmussen et al., 2017). Logo, a disseminação da informação é elementar ao processo de adesão à regularização e redução do desmatamento como foi apontado nos artigos II e III. Assim, na implementação do PRA é:

- (i) prudente que a avaliação de déficits e ativos de vegetação nativa nos imóveis rurais seja feita por dados observados via satélite, o que garantiria uma margem de erro ‘calculada’, dadas as especificações técnicas dos dados (resolução espacial, temporal e radiométrica), tendo em vista o risco de diferentes níveis de sub e super declaração das áreas de vegetação nativa no CAR;
- (ii) crucial informar e integrar os produtores rurais no processo de regularização, incluindo assistência técnica para a restauração de áreas degradadas em imóveis da agricultura familiar;
- (iii) essencial à regulamentação do PRA e da CRA com definições claras, termos e medidas necessárias à regularização do déficit ambiental de LR, APP e outras áreas restritas;
- (iv) necessário definir estratégias viáveis de monitoramento (e.g., sistema via sensoriamento remoto com imagens de alta resolução espacial e temporal) das medidas de regularização, seja a restauração ou a compensação, pois nem sempre será possível um fiscal ambiental do estado ir ao campo verificar. Quando necessário, se possível, descentralizar o trabalho de campo aos municípios;
- (v) fundamental definir a regularização por grupos de tamanhos de imóveis rurais e por produção, isto é, os maiores e os com produção em grande escala primeiro.

Em suma, a execução de ações de conservação e de regularização da RL e APP, por exemplo, depende do entendimento dos produtores rurais acerca dos benefícios e de se apropriarem de medidas de produção eficientes e estratégicas (e.g., cultivo em áreas com alta

aptidão, restauração de áreas com baixa aptidão, recuperação de pastagem degradada e adoção de formas de cultivos que reduzam o impacto negativo: culturas rotativas, integração lavoura-pecuária-floresta – ILPF e/ou sistema agroflorestal, plantio direto, adubo verde etc.), e dos agentes fomentadores de políticas públicas trabalharem lado a lado aos proprietários de terras para uma produção agrícola e pecuária mais sustentável.

6.3 Caminhos para futuras pesquisas

A compreensão de fatores que motivam os agricultores a realizar comportamentos de conservação é vista como a chave para aumentar os esforços no enfrentamento dos desafios agroambientais (Thompson et al., 2015). A mudança do clima é uma realidade que interfere e é interferida pelas cidades e pelo o campo, seja por meio de extremos climáticos, com a redução da precipitação pluviométrica em períodos críticos para o cultivo agrícola, podendo impactar no volume de produção e/ou aumentar a demanda por irrigação, que provoca redução dos níveis de água nos mananciais e possíveis conflitos pelos usos (Deryng et al., 2014; Pousa et al., 2019); seja por meio de redução dos serviços ecossistêmicos. Contudo, as pesquisas que exploram o interesse de conservação dos proprietários de terras no Brasil, especialmente na manutenção da vegetação nativa, ainda são incipientes. Nesse sentido, é necessário expandir as análises para as demais regiões do país, além de aprimorar a investigação da disposição dos produtores rurais em adotar medidas de conservação e regularização ambiental, incluindo informações econômicas e psicossociais, por exemplo, para identificar/mapear as regiões que dependem de estímulos diferenciados. Isso pode contribuir com os esforços de implementação de políticas de atendimento à LPVN, uma vez que tais informações permitem direcionar as ações governamentais.

REFERÊNCIAS

- Amazônia, 2016. Explicando o Cadastro Ambiental Rural (CAR) no interior da Amazônia. Amazônia notícia e informações. Available: <http://amazonia.org.br/2016/03/explicando-o-cadastro-ambiental-rural-car-no-interior-da-amazonia/> (accessed February 13, 19).
- Agrosatélite, 2017. Database v2. Geospatial Analyses of the Annual Crops Dynamic in the Brazilian Cerrado Biome: 2000 to 2014. Agrosatélite Applied Geotechnology Ltd. / Rudorff B, Risso J et al, 2015 Florianópolis, Santa Catarina, Brazil, 2015 28 p.
- Ajzen, I., 1991. The theory of planned behavior. *Organizational Behav. Hum. Decis. Process.* 50, 179–211. [https://doi.org/10.1016/0749-5978\(91\)90020-T](https://doi.org/10.1016/0749-5978(91)90020-T)
- Ajzen, I., 1985. From Intentions to Actions: A Theory of Planned Behavior, in: *Action Control*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 11–39. https://doi.org/10.1007/978-3-642-69746-3_2
- Albarracin, D., Johnson, B., Zanna, M., 2005. The handbook of attitudes, 1st ed, *Journal of Chemical Information and Modeling*. Lawrence Erlbaum Associates. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Alix-Garcia, J., Rausch, L.L., L’Roe, J., Gibbs, H.K., Munger, J., 2018. Avoided Deforestation Linked to Environmental Registration of Properties in the Brazilian Amazon. *Conserv. Lett.* 11, 1–8. <https://doi.org/10.1111/conl.12414>
- Alves-Pinto, H.N., Latawiec, A.E., Strassburg, B.B.N., Barros, F.S.M., Sansevero, J.B.B., Iribarrem, A., Crouzeilles, R., Lemgruber, L., Rangel, M.C., Silva, A.C.P., 2017. Reconciling rural development and ecological restoration: Strategies and policy recommendations for the Brazilian Atlantic Forest. *Land use policy* 60, 419–426. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.08.004>
- Aragão, L.E.O.C., Malhi, Y., Barbier, N., Lima, A., Shimabukuro, Y., Anderson, L., Saatchi, S., 2008. Interactions between rainfall, deforestation and fires during recent years in the Brazilian Amazonia. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 363, 1779–1785. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.0026>
- Arima, E.Y., Barreto, P., Araújo, E., Soares-Filho, B., 2014. Public policies can reduce tropical deforestation: Lessons and challenges from Brazil. *Land use policy* 41, 465–473. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.06.026>

- Aronson, J., Durigan, G., Brancalion, P. H. S., 2011. Conceitos e definições correlatos à ciência e à prática da restauração ecológica. *IF Série Registros*, 44, 1-38.
- Azevedo, A.A., Rajão, R., Costa, M., Stabile, M.C.C., Alencar, A., Moutinho, P., 2014. Cadastro Ambiental Rural e sua influência na dinâmica do desmatamento na Amazônia Legal. *Bol. Amaz. em Pauta* 3, 1–16.
- Azevedo, A.A., Rajão, R., Costa, M.A., Stabile, M.C.C., Macedo, M.N., Dos Reis, T.N.P., Alencar, A., Soares-Filho, B.S., Pacheco, R., 2017. Limits of Brazil's Forest Code as a means to end illegal deforestation. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 114, 7653–7658. <https://doi.org/10.1073/pnas.1604768114>
- Azevedo, A.A., Stabile, M.C.C., Reis, T.N.P., 2015. Commodity production in Brazil: Combining zero deforestation and zero illegality. *Elem. Sci. Anthr.* 3, 12. <https://doi.org/10.12952/journal.elementa.000076>
- Barcelos, I; Barros, C., 2016. Especial Amazônia em Disputa. Crime e grilagem com uso do CAR. Agência Pública, 2 de agosto de 2016. Available: [https://apublica.org/2016/08/crime-e-grilagem-com-uso-do-car/\(accessed 1 August 2020\)](https://apublica.org/2016/08/crime-e-grilagem-com-uso-do-car/(accessed%201%20August%202020))
- Beedell, J.D.C., Rehman, T., 1999. Explaining farmers' conservation behaviour: Why do farmers behave the way they do? *J. Environ. Manage.* 57, 165–176. <https://doi.org/10.1006/jema.1999.0296>
- Ben-Akiva, M., Lerman, S., 1985. Discrete choice analysis: Theory and Application to Predict Travel Demand. MIT Press, Cambridge, Mass.
- Bernasconi, P., Blumentrath, S., Barton, D.N., Rusch, G.M., Romeiro, A.R., 2016. Constraining forest certificate's market to improve cost-effectiveness of biodiversity conservation in São Paulo State, Brazil. *PLoS One* 11, 1–18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0164850>
- Borges, J.A., Lansink, A.G.J.M., 2015. Comparing groups of Brazilian cattle farmers with different levels of intention to use improved natural grassland. *Livest. Sci.* 178, 296–305. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.05.035>
- Bradley, A.P., 1997. The use of the area under the roc curve in the evaluation of machine learning algorithms. *Pattern recognition* 30 1145-1159. [https://doi.org/10.1016/S0031-3203\(96\)00142-2](https://doi.org/10.1016/S0031-3203(96)00142-2)

- Brancalion, P.H.S., Garcia, L.C., Loyola, R., Rodrigues, R.R., Pillar, V.D., Lewinsohn, T.M., 2016. Análise crítica da Lei de Proteção da Vegetação Nativa (2012), que substituiu o antigo Código Florestal: atualizações e ações em curso. *Nat. Conserv.* 14, e1–e16. <https://doi.org/10.1016/j.ncon.2016.03.004>
- Brancalion, P., Rodrigues, R., Gandolf, S., 2015. *Restauração Florestal*. São Paulo-SP, Oficina de textos.
- Brancalion, P.H.S., Viani, R.A.G., Strassburg, B.B.N., Rodrigues, R.R., 2012. Finding the money for tropical forest restoration. *Unasylva* 63, 41–50.
- Brasil, 1934. Decreto n. 23.793, de 23 de janeiro de 1934. Aprova o Código Florestal. Available: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1930-1949/D23793.htm (accessed October 7, 19).
- Brasil, 1965. Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal. Available: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L4771.htm#art50 (accessed September 22, 19).
- Brasil, 1970. Decreto-Lei nº 1.110, de 9 de julho de 1970. Cria o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) [...]. Brasília - DF. Available: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/1965-1988/Del1110.htm (accessed March 30, 19).
- Brasil, 1981. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente. Available: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6938.htm (accessed May 30, 19).
- Brasil, 2001. Lei nº 10.267, de 28 de agosto de 2001. Certificação de imóveis rurais. Brasília - DF. Available: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10267.htm (accessed March 30, 19).
- Brasil, 2012. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Available: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm (accessed January 13, 19).
- Brito, B., 2020. The pioneer market for forest law compliance in Paragominas, Eastern Brazilian Amazon. *Land use policy* 94, 104310. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104310>

- Brito, B., 2017. Potential trajectories of the upcoming forest trading mechanism in Pará State, Brazilian Amazon. *PLoS One* 12, 1–21. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174154>
- Burton, R.J.F., 2014. The influence of farmer demographic characteristics on environmental behaviour: A review. *J. Environ. Manage.* 135, 19–26. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.12.005>
- Camargo, F., 2013. Os rumos do Cadastro Ambiental Rural (CAR) precisam mudar. Instituto Socioambiental (ISA). Available: <https://www.socioambiental.org/pt-br/blog/blog-do-ppds/os-rumos-do-cadastro-ambiental-rural-car-precisam-mudar> (accessed April 3, 19).
- Campos, S.A.C., Bacha, C.J.C., 2019. Determinantes do custo de oportunidade dos fazendeiros em manterem a reserva legal – os casos paulista e mato-grossense. *Rev. Econ. e Sociol. Rural* 57, 288–308. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2019.179530>
- Campos, S.A.C., Bacha, C.J.C., 2013. O custo privado da reserva legal. *Rev. Política Agrícola* XXII, 85–104.
- Carr, S., Tait, J., 1991. Differences in the attitudes of farmers and conservationists and their implications. *J. Environ. Manage.* 32, 281–294. [https://doi.org/10.1016/S0301-4797\(05\)80058-1](https://doi.org/10.1016/S0301-4797(05)80058-1)
- Caverni, A. (2016). PF e Receita Federal lançam operação contra grilagem de terras e lavagem de dinheiro. *Reuters Brasil*, 30 de junho de 2016. Available: <https://br.reuters.com/article/domesticNews/idBRKCN0ZG1OO> (accessed August 1, 2020).
- Chawla, N. V., Bowyer, K.W., Hall, L.O., Kegelmeyer, W.P., 2002. SMOTE: Synthetic Minority Over-sampling Technique. *J. Artif. Intell. Res.* 16, 321–357. <https://doi.org/10.1613/jair.953>
- Chiavari, J, Lopes, C.L., Marques, D., Antonaccio, L., Braga, N., 2016. Panorama dos direitos de propriedade no Brasil rural: legislação, gestão fundiária e Código Florestal. *Climate Policy Initiative (CPI)*.
- Costa, M. A., 2019. Tópicos em ciência dos dados: introdução dos modelos paramétricos e suas aplicações utilizando R. Rio de Janeiro: Bonecker.
- Costa, M.A., Rajão, R., Stabile, M.C.C., Azevedo, A.A., 2018. Epidemiologically inspired approaches to land-use policy evaluation: The influence of the Rural Environmental

- Registry (CAR) on deforestation in the Brazilian Amazon. *Elem. Sci. Anthr.* 6, 1–17. <https://doi.org/10.1007/BF01054478>
- Coudel, A.E., Piketty, M.-G., Gardner, T.A., Viana, C., Ferreira, J.N., Morello, T., Parry, L., Universidade, U.S.P., Paulo, D.E.S.Ã.O., 2012. Environmental compliance in the Brazilian Amazon: exploring motivations and institutional conditions, in: 12th Biennial Conference of the International Society for Ecological Economics (ISEE 2012 Conference). Rio de Janeiro, pp. 1–34.
- da Cruz, J.C., Barella, C.F., Fonseca, A., 2020. Compensating deforestation with forest surplus: Key regulatory issues within Brazil's atlantic forest. *Ecol. Econ.* 167, 106–444. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.106444>
- CPT, 2019. Conflitos no Campo Brasil 2018. Comissão Pastoral da Terra. Available: <https://cptnacional.org.br/downloads-2/download/41-conflitos-no-campo-brasil-publicacao/14154-conflitos-no-campo-brasil-2018> (accessed January 04, 20).
- Dang, H. Le, Li, E., Nuberg, I., Bruwer, J., 2014. Understanding farmers' adaptation intention to climate change: A structural equation modelling study in the Mekong Delta, Vietnam. *Environ. Sci. Policy* 41, 11–22. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.04.002>
- de Snoo, G.R., Herzon, I., Staats, H., Burton, R.J.F., Schindler, S., van Dijk, J., Lokhorst, A.M., Bullock, J.M., Lobley, M., Wrba, T., Schwarz, G., Musters, C.J.M., 2013. Toward effective nature conservation on farmland: Making farmers matter. *Conserv. Lett.* 6, 66–72. <https://doi.org/10.1111/j.1755-263X.2012.00296.x>
- Deadman, P., Robinson, D., Moran, E., Brondizio, E., 2004. Colonist household decisionmaking and land-use change in the Amazon Rainforest: An agent-based simulation. *Environ. Plan. B Plan. Des.* 31, 693–709. <https://doi.org/10.1068/b3098>
- Deryng, D., Conway, D., Ramankutty, N., Price, J., Warren, R., 2014. Global crop yield response to extreme heat stress under multiple climate change futures. *Environ. Res. Lett.* 9. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/3/034011>
- Ditt, E.H., Mourato, S., Ghazoul, J., Knight, J., 2010. Forest conversion and provision of ecosystem services in the Brazilian Atlantic Forest. *L. Degrad. Dev.* 603, 591–603.
- Drescher, M., Brenner, J.C., 2018. The practice and promise of private land conservation. *Ecol. Soc.* 23. <https://doi.org/10.5751/ES-10020-230203>

- Drescher, M., Keith Warriner, G., Farmer, J.R., Larson, B.M.H., 2017. Private landowners and environmental conservation: A case study of social-psychological determinants of conservation program participation in Ontario. *Ecol. Soc.* 22. <https://doi.org/10.5751/ES-09118-220144>
- ESRI, 2015. ArcGIS Desktop: Release 10.4.1. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.
- Fasiaben, M.D.C.R., Romeiro, A.R., Peres, F.C., Maia, A.G., 2011. Impacto econômico da reserva legal sobre diferentes tipos de unidades de produção agropecuária. *Rev. Econ. e Sociol. Rural* 49, 1051–1096. <https://doi.org/10.1590/S0103-20032011000400010>
- Fearnside, P.M., 2005. Deforestation in Brazilian Amazonia: history, rates, and consequences. *Conserv. Biol.* 19, 680–688. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00697.x>
- Fearnside, P.M., 1997. Environmental services as a strategy for sustainable development in rural Amazonia. *Ecol. Econ.* 20, 53–70. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(96\)00066-3](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(96)00066-3)
- Fishbein, M., Ajzen, I., 1975. *Belief, Attitude, Intention, and Behavior: An Introduction to Theory and Research*. Reading, MA: Addison-Wesley. <https://people.umass.edu/aizen/f&a1975.html>
- Fishbein, M., 1980. Theory of reasoned action: Some applications and implications. In H. Howe & M. Page (Eds.), *Nebraska Symposium on Motivation*, 1979 (pp. 65–116). Lincoln: University of Nebraska Press.
- Floress, K., García de Jalón, S., Church, S.P., Babin, N., Ulrich-Schad, J.D., Prokopy, L.S., 2017. Toward a theory of farmer conservation attitudes: Dual interests and willingness to take action to protect water quality. *J. Environ. Psychol.* 53, 73–80. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2017.06.009>
- Freitas, F.L.M. de, Sparovek, G., Mörtberg, U., Silveira, S., Klug, I., Berndes, G., 2017. Offsetting legal deficits of native vegetation among Brazilian landholders: Effects on nature protection and socioeconomic development. *Land use policy* 68, 189–199. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.07.014>
- Freitas, F.L.M., Englund, O., Sparovek, G., Berndes, G., Guidotti, V., Pinto, L.F.G., Mörtberg, U., 2018. Who owns the Brazilian carbon? *Glob. Chang. Biol.* 24, 2129–2142. <https://doi.org/10.1111/gcb.14011>

- Gama, J.R.V., Botelho, S.A., Bentes-Gama, M. de M., 2002. Composição florística e estrutura da regeneração natural de floresta secundária de várzea baixa no estuário amazônico. *Rev. Árvore* 26, 559–566. <https://doi.org/10.1590/s0100-67622002000500005>
- Garrett, R.D., Gardner, T.A., Morello, T.F., Marchand, S., Barlow, J., Blas, D.E. De, 2017. Explaining the persistence of low income and environmentally degrading land uses in the Brazilian Amazon. *Ecol. Soc.* 22.
- Giannichi, M.L., Ziv, G., Dallimer, M., Baker, T.R., Mitchell, G., Bernasconi, P., 2017. Divergent Landowners' Expectations May Hinder the Uptake of a Forest Certificate Trading Scheme. *Conserv. Lett.* 0, 1–11. <https://doi.org/10.1111/conl.12409>
- Gibbs, H.K., Munger, J., L'Roe, J., Barreto, P., Pereira, R., Christie, M., Amaral, T., Walker, N.F., 2016. Did Ranchers and Slaughterhouses Respond to Zero-Deforestation Agreements in the Brazilian Amazon? *Conserv. Lett.* 9, 32–42. <https://doi.org/10.1111/conl.12175>
- Gibbs, H.K., Rausch, L., Munger, J., Schelly, I., Morton, D.C., Noojipady, P., Soares-Filho, B., Barreto, P., Micol, L., Walker, N.F., 2015. Brazil's Soy Moratorium. *Science* (80-.). 347, 377–378. <https://doi.org/10.1126/science.aaa0181>
- Gooden, J.L., 2019. Cultivating identity through private land conservation. *People Nat.* 1, 362–375. <https://doi.org/10.1002/pan3.32>
- Greiner, R., 2015. Motivations and attitudes influence farmers' willingness to participate in biodiversity conservation contracts. *Agric. Syst.* 137, 154–165. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2015.04.005>
- Guidotti, V., Freitas, F.L.M., Sparovek, G., Pinto, L.F.G., Hamamura, C., Carvalho, T., Cerignoni, F., 2017. Números detalhados do novo Código Florestal e suas implicações para os PRAs. *Sustentabilidade em Debate* 1–9. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23229.87526>
- Guzmán Wolfhard, L.V., Raedig, C., 2019. Connectivity Conservation Management: Linking Private Protected Areas, in: Nehren, U., Schlüter, S., Raedig, C., Sattler, D., Hissa, H. (Eds.), *Strategies and Tools for a Sustainable Rural Rio de Janeiro*. Springer International Publishing, Cham, pp. 155–171. https://doi.org/10.1007/978-3-319-89644-1_11
- Hissa, L. de B.V., Aguiar, A.P.D., Camargo, R.R., Lima, L.S. de, Gollnow, F., Lakes, T., 2019.

- Regrowing forests contribution to law compliance and carbon storage in private properties of the Brazilian Amazon. *Land use policy* 88, 104163. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104163>
- Holland, T.G., Coomes, O.T., Robinson, B.E., 2016. Evolving frontier land markets and the opportunity cost of sparing forests in western Amazonia. *Land use policy* 58, 456–471. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.08.015>
- IBGE, 2018. Área da unidade territorial: Área territorial brasileira. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro - RJ.
- INCRA, 2018a. Downloads de Dados Incra. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. Available: <http://acervofundiario.incra.gov.br/geodownload/geodados.php> (accessed September 13, 18). CONFERIR: Shapefile.
- INCRA, 2013. Sistema nacional de cadastro rural: índices básicos de 2013. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. Available: <http://www.incra.gov.br/tabela-modulo-fiscal> (accessed January 30, 18).
- INCRA, n.d.a. Acervo Fundiário. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. Available: <http://acervofundiario.incra.gov.br/acervo/acv.php> (accessed September 13, 18).
- INCRA, n.d.b. Manual do SIGEF. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. Available: <https://sigef.incra.gov.br/documentos/manual/> (accessed September 13, 18).
- INPE, 2019. Taxa de desmatamento na Amazônia Legal. PRODES. Atualizado em 16/12/2019. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Online: http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/legal_amazon/rates (accessed February 13, 2020).
- IPCC, 2007. Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2007: The physical science basis – Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*
- IPEA, 2011. Comunicado do Ipea nº 96 - Código florestal: implicações do PL 1876/99 nas áreas de reserva legal. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.
- Irigaray, C.T.J.H., 2007. Compensação de reserva legal: limites à sua implementação. *Rev. Amaz. Leg. Estud. sócio-jurídico-ambientais* 1, 55–68.

- Joly, C.A., Scarano, F.R., Bustamante, M., Gadda, T.M.C., Metzger, J.P.W., Seixas, C.S., Ometto, J.P.H.B., Pires, A.P.F., Boesing, A.L., Sousa, F.D.R., Quintão, J.M.B., Gonçalves, L.R., Padgurschi, M. de C.G., de Aquino, M.F.D.S., de Castro, P.F.D., Dos Santos, I.L., 2019. Brazilian assessment on biodiversity and ecosystem services: Summary for policy makers. *Biota Neotrop.* 19. <https://doi.org/10.1590/1676-0611-bn-2019-0865>
- Jung, S., Rasmussen, L.V., Watkins, C., Newton, P., Agrawal, A., 2017. Brazil's National Environmental Registry of Rural Properties: Implications for Livelihoods. *Ecol. Econ.* 136, 53–61. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.02.004>
- Kamal, S., Grodzińska-Jurczak, M., Brown, G., 2015. Conservation on private land: a review of global strategies with a proposed classification system. *J. Environ. Plan. Manag.* 58, 576–597. <https://doi.org/10.1080/09640568.2013.875463>
- Kennedy, C.M., Hawthorne, P.L., Miteva, D.A., Baumgarten, L., Sochi, K., Matsumoto, M., Evans, J.S., Polasky, S., Hamel, P., Vieira, E.M., Develey, P.F., Sekercioglu, C.H., Davidson, A.D., Uhlhorn, E.M., Kiesecker, J., 2016a. Optimizing land use decision-making to sustain Brazilian agricultural profits, biodiversity and ecosystem services. *Biol. Conserv.* 204, 221–230. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.10.039>
- Kennedy, C.M., Miteva, D.A., Baumgarten, L., Hawthorne, P.L., Sochi, K., Polasky, S., Oakleaf, J.R., Uhlhorn, E.M., Kiesecker, J., 2016b. Bigger is better: Improved nature conservation and economic returns from landscape-level mitigation. *Sci. Adv.* 2. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1501021>
- Keshavarz, M., Karami, E., 2016. Farmers' pro-environmental behavior under drought: Application of protection motivation theory. *J. Arid Environ.* 127, 128–136. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2015.11.010>
- Kroes, E.P., Sheldon, R.J., 1988. Stated preference methods: an introduction. *J. Transp. Econ. Policy* 22, 11–25.
- L'Roe, J., Rausch, L., Munger, J., Gibbs, H.K., 2016. Mapping properties to monitor forests: Landholder response to a large environmental registration program in the Brazilian Amazon. *Land use policy* 57, 193–203. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.05.029>
- Ladle, R.J., Bragagnolo, C., Gama, G.M., Malhado, A.C.M., Root-Bernstein, M., Jepson, P., 2014. Private protected areas: Three key challenges. *Environ. Conserv.* 41, 239–240. <https://doi.org/10.1017/S0376892913000477>

- Latawiec, A.E., Strassburg, B.B.N., Brancalion, P.H.S., Rodrigues, R.R., Gardner, T., 2015. Creating space for large-scale restoration in tropical agricultural landscapes. *Front Ecol Env.* 13, 211–218. <https://doi.org/10.1890/140052>
- Laudares, S.S. de A., Silva, K.G. da, Borges, L.A.C., 2014. Cadastro Ambiental Rural: uma análise da nova ferramenta para regularização ambiental no Brasil. *Desenvolv. e Meio Ambient.* 31, 111–122.
- Lima, Letícia S., Coe, M.T., Soares Filho, B.S., Cuadra, S. V., Dias, L.C.P., Costa, M.H., Lima, Leandro S., Rodrigues, H.O., 2014. Feedbacks between deforestation, climate, and hydrology in the Southwestern Amazon: Implications for the provision of ecosystem services. *Landsc. Ecol.* 29, 261–274. <https://doi.org/10.1007/s10980-013-9962-1>
- Louviere, J.J., 1988. *Analyzing Individual Decision Making: Metric Conjoint Analysis*. Sage University Series on Quantitative Applications in the Social Sciences, Series n.67. Newbury Park, Ca: Sage Publications, Inc.
- Lynne, G.D., 2006. Toward a dual motive metaeconomic theory. *J. Socio. Econ.* 35, 634–651. <https://doi.org/10.1016/j.socec.2005.12.019>
- Malhi, Y., Roberts, J.T., Betts, R.A., Killeen, T.J., Li, W., Nobre, C.A., 2008. Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. *Science* (80-.). 319, 169–172. <https://doi.org/10.1126/science.1146961>
- MapBiomas, 2018. Projeto MapBiomas – Coleção 4.1 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. Available: <https://mapbiomas.org> (accessed December 08, 19).
- Mastrangelo, M.E., Gavin, M.C., Laterra, P., Linklater, W.L., Milfont, T.L., 2014. Psycho-Social Factors Influencing Forest Conservation Intentions on the Agricultural Frontier. *Conserv. Lett.* 7, 103–110. <https://doi.org/10.1111/conl.12033>
- May, P.H., Andrade, J., Vivan, J.L., Kaechele, K., Gebara, M.F., Abad, R., 2012. Assessment of the role of economic and regulatory instruments in the conservation policymix for the Brazilian Amazon – a coarse grain analysis, 5th ed. POLICYMIX.
- May, P.H., Bernasconi, P., Wunder, S., Lubowski, R., 2015. Environmental reserve quotas in Brazil's new forest legislation: an ex ante appraisal, Center for International Forestry Research. Center for International Forestry Research (CIFOR), Bogor, Indonesia. <https://doi.org/10.17528/cifor/005609>

- McBroom, W.H., Reed, F.W., 1992. Toward a Reconceptualization of Attitude-Behavior Consistency. *Soc. Psychol. Q.* 55, 205–216. <https://doi.org/10.2307/2786946>
- MCTI, 2015. III Inventário - LULUCF (Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas). Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Available: https://sirene.mctic.gov.br/portal/opencms/textoGeral/2018/10/11/Relatorios_de_Referencia_do_II_Inventario_Brasileiro_de_Emissoes_e_Remocoes_Antropicas_de_Gases_de_Efeito_Estufa.html (accessed June 11, 19).
- Mueller, B., 2016. Key issues for property rights in Brazil: implications for the Forest Code. Climate Policy Initiative (CPI).
- Metzger, J.P., Bustamante, M.M.C., Ferreira, J., Fernandes, G.W., Librán-Embíd, F., Pillar, V.D., Prist, P.R., Rodrigues, R.R., Vieira, I.C.G., Overbeck, G.E., 2019. Why Brazil needs its Legal Reserves. *Perspect. Ecol. Conserv.* 17, 91–103. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2019.07.002>
- Micol, L., Abad, R., Bernasconi, P., 2013. Potencial de aplicação da Cota de Reserva Ambiental em Mato Grosso. *Inst. Cent. Vida* 1–6.
- MMA, 2014. Instrução Normativa nº 2, de 06 de maio de 2014. Ministério do Meio Ambiente. Available: http://www.car.gov.br/leis/IN_CAR.pdf (accessed December 08, 19).
- Nepstad, D., McGrath, D., Stickler, C., Alencar, A., Azevedo, A., Swette, B., Bezerra, T., DiGiano, M., Shimada, J., Seroa da Motta, R., Armijo, E., Castello, L., Brando, P., Hansen, M.C., McGrath-Horn, M., Carvalho, O., Hess, L., 2014. Slowing Amazon deforestation through public policy and interventions in beef and soy supply chains. *Science* (80-.). 344, 1118–23. <https://doi.org/10.1126/science.1248525>
- Nolte, C., Agrawal, A., Silvius, K.M., Britaldo, S.S.F., 2013. Governance regime and location influence avoided deforestation success of protected areas in the Brazilian Amazon. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 110, 4956–4961. <https://doi.org/10.1073/pnas.1214786110>
- Nunes, F.S.M., Soares-Filho, B.S., Rajão, R., Merry, F., 2017. Enabling large-scale forest restoration in Minas Gerais state, Brazil. *Environ. Res. Lett.* 12, 044022.
- Nunes, S., Barlow, J., Gardner, T., Sales, M., Monteiro, D., Souza, C., 2019a. Uncertainties in assessing the extent and legal compliance status of riparian forests in the eastern Brazilian Amazon. *Land use policy* 82, 37–47. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.11.051>

- Nunes, S., Cavalcante, R.B.L., Nascimento, W.R., Souza-Filho, P.W.M., Santos, D., 2019b. Potential for forest restoration and deficit compensation in Itacaiúnas watershed, southeastern Brazilian Amazon. *Forests* 10. <https://doi.org/10.3390/f10050439>
- Nunes, S., Gardner, T., Barlow, J., Martins, H., Salomão, R., Monteiro, D., Souza, C., 2016. Compensating for past deforestation: Assessing the legal forest surplus and deficit of the state of Pará, eastern Amazonia. *Land use policy* 57, 749–758. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.04.022>
- OCF, 2019. Projeto ValidaCAR. Produtos: diagnósticos dos estados. Observatório do Código Florestal. Available: <http://observatorioflorestal.org.br/o-que-fazemos/monitoramento-2/validacar/>. (accessed December 11, 19).
- Oliveira, A.L.A., Brugnara, E., 2018. Cadastro Ambiental Rural: um instrumento para evidenciar conflitos ambientais em terras indígenas? *Desenvolv. e Meio Ambient.* 46, 194–207. <https://doi.org/10.5380/dma.v46i0.56773>.
- Ortuzar, J. de D., Willumsen, L.G., 2011. *Modelling Transport*, 4th ed, Modelling Transport. JohnWiley & Sons, Ltd, Chichester: New York, NY. <https://doi.org/10.1002/9781119993308>
- Pacheco, R., Rajão, R., Soares-Filho, B., van der Hoff, R., 2017. Regularização do passivo de reserva legal: percepção dos produtores rurais no Pará e Mato Grosso. *Ambient. Soc.* XX, 185–206.
- Pinto, L.F.G., Guidotti, V., Freitas, Felipe Cerignoni, F.L.M., Sparovek, G., Rajão, R., Giudice, R. del, Carvalho, T., 2018. Código Florestal: a abrangência e os vazios do CAR - quanto e quem falta. *Sustentabilidade em Debate* 24.
- Pires, M.O., Ortega, V.G., 2013. O Cadastro Ambiental Rural na Amazônia, Conservação Internacional. Conservação Internacional, Brasília.
- Pires, M.O., Savian, G.C.P.S., 2016. A implementação da política de regularização ambiental nos estados da Amazônia e as propostas de alteração da Lei 12.651/2012, in: *Mudanças No Código Florestal Brasileiro: Desafios Para a Implementação Da Nova Lei*. pp. 79–106.
- Poppenborg, P., Koellner, T., 2013. Do attitudes toward ecosystem services determine agricultural land use practices? An analysis of farmers' decision-making in a South Korean watershed. *Land use policy* 31, 422–429.

<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.08.007>

- Pousa, R., Costa, M.H., Pimenta, F.M., Fontes, V.C., Castro, M., 2019. Climate change and intense irrigation growth in Western Bahia, Brazil: The urgent need for hydroclimatic monitoring. *Water (Switzerland)* 11. <https://doi.org/10.3390/w11050933>
- Power, A.G., 2010. Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 365, 2959–2971. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0143>
- R Core Team, 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Rajão, R., Soares-Filho, B.S., Pacheco, R., 2018. Mercado de Cotas de Reserva Ambiental (CRA) no Mato Grosso e Pará. 1. ed. Belo Horizonte: IGC/UFMG, 52p.
- Rajão, R., Azevedo, A., Stabile, M.C.C., 2012. Institutional subversion and deforestation: learning lessons from the system for the Environmental Licencing of Rural Properties in Mato Grosso. *Public Adm. Dev.* 32, 229–244. <https://doi.org/10.1002/pad>
- Rajão, R., Soares-filho, B., 2015. Cotas de reserva ambiental (CRA): potencial e viabilidade econômica do mercado no Brasil, 1st ed. IGC/UFMG, Belo Horizonte.
- Rasmussen, L.V., Jung, S., Brites, A.D., Watkins, C., Agrawal, A., 2017. Understanding smallholders' intended deforestation behavior in the Brazilian Cerrado following environmental registry. *Environ. Res. Lett.* 12, 094001.
- Reimer, A.P., Prokopy, L.S., 2014. Farmer participation in U.S. Farm bill conservation programs. *Environ. Manage.* 53, 318–332. <https://doi.org/10.1007/s00267-013-0184-8>
- Richards, P.D., VanWey, L., 2016. Farm-scale distribution of deforestation and remaining forest cover in Mato Grosso. *Nat. Clim. Chang.* 6, 418–425. <https://doi.org/10.1038/nclimate2854>
- Rivero, S., Almeida, O., Ávila, S., Oliveira, W., 2009. Pecuária e desmatamento: Uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia. *Nov. Econ.* 19, 41–66. <https://doi.org/10.1590/s0103-63512009000100003>
- Roitman, I., Cardoso Galli Vieira, L., Baiocchi Jacobson, T.K., da Cunha Bustamante, M.M., Silva Marcondes, N.J., Cury, K., Silva Estevam, L., da Costa Ribeiro, R.J., Ribeiro, V., Stabile, M.C.C., de Miranda Filho, R.J., Avila, M.L., 2018. Rural Environmental Registry:

- An innovative model for land-use and environmental policies. *Land use policy* 76, 95–102. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.04.037>
- Rogers, R. W., 1983. Cognitive and physiological processes in fear appeals and attitude change: A revised theory of protection motivation. In B. L. Cacioppo & L. L. Petty (Eds), *Social Psychophysiology: A Sourcebook*. London: Guilford.
- Rother, D.C., Vidal, C.Y., Fagundes, I.C., Metran da Silva, M., Gandolfi, S., Rodrigues, R.R., Nave, A.G., Viani, R.A.G., Brancalion, P.H.S., 2018. How Legal-Oriented Restoration Programs Enhance Landscape Connectivity? Insights From the Brazilian Atlantic Forest. *Trop. Conserv. Sci.* 11. <https://doi.org/10.1177/1940082918785076>
- Santiago, T.M.O., Caviglia-Harris, J., Rezende, J.L.P. de, 2018. Carrots, Sticks and the Brazilian Forest Code: the promising response of small landowners in the Amazon. *J. For. Econ.* 30, 38–51. <https://doi.org/10.1016/j.jfe.2017.12.001>
- Sarnoff, I., 1960. Psychoanalytic Theory and Social Attitudes. *Public Opin. Q.* 24, 251. <https://doi.org/10.1086/266948>
- Saunders, C.D., Brook, A.T., Eugene Myers, O., 2006. Using psychology to save biodiversity and human well-being. *Conserv. Biol.* 20, 702–705. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2006.00435.x>
- Schmidt, C.A., McDermott, C.L., 2014. Deforestation in the Brazilian Amazon: Local Explanations for Forestry Law Compliance. *Soc. Leg. Stud.* 24, 3–24. <https://doi.org/10.1177/0964663914552213>
- Schons, S.Z., Lima, E., Amacher, G.S., Merry, F., 2019. Smallholder land clearing and the Forest Code in the Brazilian Amazon. *Environ. Dev. Econ.* 24, 157–179. <https://doi.org/10.1017/S1355770X18000505>
- SEMA/MT, 2019. SIMCAR portal público. Secretária de Estado de Meio Ambiente do Estado do Mato Grosso. Available: <https://monitoramento.sema.mt.gov.br/simcar/tecnico.app/publico/mapa> (accessed August 10, 19).
- SEMAS/MT, 2017. Lei Complementar nº 592, de 26 de maio de 2017. Dispõe sobre o Programa de Regularização Ambiental - PRA, disciplina o Cadastro Ambiental Rural - CAR. Secretária de Estado de Meio Ambiente do Estado do Mato Grosso. Diário Oficial, nº 27029. Available: <https://www.iomat.mt.gov.br/portal/visualizacoes/jornal/16081/#e>

16081 (accessed April 04, 18).

SEMA/MT, 2015. Instrução Normativa nº 11, de 29 de setembro de 2015. Disciplina os procedimentos técnicos e administrativos da análise e validação do CAR/MT. Secretária de Estado de Meio Ambiente do Estado do Mato Grosso. Diário Oficial, nº 26629. Available: <https://www.iomat.mt.gov.br/portal/visualizacoes/pdf/14218/#/p:1/e:14218> (accessed April 04, 18).

SEMAS/PA, 2014. Decreto nº 1.052, de 16 de maio de 2014. Dispõe sobre a obrigatoriedade do Cadastro Ambiental Rural - CAR-PA para a emissão da Guia de Transporte Animal no Estado do Pará - GTA e concessão de outras licenças e serviços estaduais. DOE Nº 32.644, DE 19/05/2014. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Pará. Available: <https://www.semas.pa.gov.br/legislacao/normas/view/406> (accessed August 22, 20).

SEMAS/PA. 2011a. DECRETO Nº 216, DE 22 DE SETEMBRO DE 2011. Dispõe sobre o licenciamento ambiental das atividades agrossilvopastoris. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Pará. DOE Nº 32.006, de 26/09/2011. <https://www.semas.pa.gov.br/legislacao/files/pdf/2083.pdf> (accessed August 12, 19)

SEMAS/PA, 2011b. Instrução Normativa nº 14, de 27 de outubro de 2011. Estabelece os procedimentos administrativos para a regularização e o licenciamento ambiental das atividades agrossilvopastoris. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Pará. DOE Nº 32.027, de 31/10/2011. Available: <https://www.semas.pa.gov.br/legislacao/files/pdf/173.pdf> (accessed August 12, 19)

Senado Federal, 2011. Nova lei busca produção com preservação. Em discussão! 9.

Senna, L.A. dos S., 2014. Economia e planejamento dos transportes, 1st ed. Elsevier, Rio de Janeiro.

SFB, 2020a. Números do Cadastro Ambiental Rural. Boletim Informativo. Serviço Florestal Brasileiro. Última atualização em Quinta, 16 de Abril de 2020, 11h09. Available: <http://www.florestal.gov.br/numeros-do-car>. (accessed July 09 20).

SFB, 2020b. Ministra Tereza Cristina e dirigentes do Serviço Florestal Brasileiro apresentam a análise dinamizada do CAR aos estados. Notícia Publicada em Sexta, 10 de Julho de 2020, 16h16. Available: <http://www.florestal.gov.br/ultimas-noticias/1910-ministra-tereza-cristina-e-dirigentes-do-servico-florestal-brasileiro-apresentam-a-analise-dinamizada-do>

- car-aos-estados. (accessed July 11 20).
- SFB, 2019a. Boletim Informativo. Serviço Florestal Brasileiro. Dados do Cadastro Ambiental Rural até 31 de maio de 2019. Available: <http://www.florestal.gov.br/numeros-do-car> (accessed June 18, 19).
- SFB, 2019b. Consulta Pública do CAR. Serviço Florestal Brasileiro. Última atualização dos dados em 10/04/2019. Available: <http://www.car.gov.br/publico/imoveis/index> (accessed June 29, 19).
- SFB, 2018. SICAR: base de downloads. Serviço Florestal Brasileiro (last update on August 22, 2018). Available: <http://www.car.gov.br/publico/municipios/downloads> (accessed September 29, 18).
- SFB, 2017a. Perguntas Frequentes - CAR. Serviço Florestal Brasileiro. Available: <http://www.florestal.gov.br/o-que-e-ocar/61-car/167-perguntas-frequentes-car#car4> (accessed May 29, 18).
- SFB, 2017b. Base de dados: pessoas perguntas [CAR]. Serviço Florestal Brasileiro. Available via request.
- SFB, 2016. Manual do Usuário: Cadastro Ambiental Rural. Módulo de Cadastro - Versão 2.0, Serviço Florestal Brasileiro, Brasília – DF.
- Sheeder, R.J., Lynne, G.D., 2011. Empathy-conditioned conservation: “Walking in the shoes of others” as a conservation farmer. *Land Econ.* 87, 433–452. <https://doi.org/10.3368/le.87.3.433>
- Sheeran, P., 2002. Intention — Behavior Relations: A Conceptual and Empirical Review. *Eur. Rev. Soc. Psychol.* 12, 1–36. <https://doi.org/10.1080/14792772143000003>
- Simmons, C.S., 2004. The political economy of land conflict in the eastern Brazilian Amazon. *Ann. Assoc. Am. Geogr.* 94, 183–206. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8306.2004.09401010.x>
- Silva, D., Nunes, S., 2017. Avaliação e modelagem econômica da restauração florestal no estado do Pará. Imazon, Belém, PA.
- Smith, P., Gregory, P.J., Vuuren, D. Van, Rounsevell, M., Obersteiner, M., Havlí, P., Woods, J., Stehfest, E., Bellarby, J., 2010. Competition for land. *Phil. Trans. R. Soc. B* 365, 2941–

2957. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0127>

Soares-Filho et al., 2017. Balanço do Código Florestal: dados SFB e FBDS. Available via request.

Soares-Filho, B., Rajão, R., Macedo, M., Carneiro, A., Costa, W., Coe, M., Rodrigues, H., Alencar, A., 2014. Cracking Brazil's Forest Code. *Science* (80). 344, 363–364.

Soares-Filho, B., Rajão, R., Merry, F., Rodrigues, H., Davis, J., Lima, L., Macedo, M., Coe, M., Carneiro, A., Santiago, L., 2016. Brazil's market for trading forest certificates. *PLoS One* 11, 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152311>

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., McGrath, D., 2005. Cenários de desmatamento para a Amazônia. *Estud. Avançados* 19, 137–152. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142005000200008>

Sparovek, G., 2012. Caminhos e escolhas na revisão do Código Florestal: quando a compensação compensa? *Visão Agric.* 10, 25–28.

Sparovek, G., Barretto, A., Klug, I., Papp, L., Lino, J., 2011. A revisão do Código Florestal brasileiro. *Novos Estud. - CEBRAP* 89, 111–135. <https://doi.org/10.1590/S0101-33002011000100007>

Sparovek, G., Berndes, G., Barretto, A.G. de O.P., Klug, I.L.F., 2012. The revision of the Brazilian forest act: Increased deforestation or a historic step towards balancing agricultural development and nature conservation? *Environ. Sci. Policy* 16, 65–72. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2011.10.008>

Sparovek, G., Berndes, G., Klug, I.L.F., Barretto, A.G.O.P., 2010. Brazilian agriculture and environmental legislation: Status and future challenges. *Environ. Sci. Technol.* 44, 6046–6053. <https://doi.org/10.1021/es1007824>

Sparovek, G., Reydon, B.P., Guedes Pinto, L.F., Faria, V., de Freitas, F.L.M., Azevedo-Ramos, C., Gardner, T., Hamamura, C., Rajão, R., Cerignoni, F., Siqueira, G.P., Carvalho, T., Alencar, A., Ribeiro, V., 2019. Who owns Brazilian lands? *Land use policy* 87, 13–15. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104062>

Stefanes, M., Oliveira, F. De, Lourival, R., Melo, I., Cyril, P., Manuel, J., Quintero, O., 2018. Property size drives differences in forest code compliance in the Brazilian Cerrado. *Land*

- use policy 75, 43–49. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.03.022>
- Stickler, C.M., Nepstad, D.C., Azevedo, A. a, Mcgrath, D.G., B, P.T.R.S., May, P.H., Bernasconi, P., Wunder, S., Lubowski, R., 2013. Defending public interests in private lands: compliance, costs and potential environmental consequences of the Brazilian Forest Code in Mato Grosso. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* 368, 20120160. <https://doi.org/10.1098/rstb.2012.0160>
- Strand, J., Soares-Filho, B., Costa, M.H., Oliveira, U., Ribeiro, S.C., Pires, G.F., Oliveira, A., Rajão, R., May, P., van der Hoff, R., Siikamäki, J., da Motta, R.S., Toman, M., 2018. Spatially explicit valuation of the Brazilian Amazon Forest’s Ecosystem Services. *Nat. Sustain.* 1, 657–664. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0175-0>
- SUDAM, n.d. Legislação da Amazônia. Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia. Available: <http://www.sudam.gov.br/index.php/institucional?id=86>. (accessed 1 May 2020).
- Sutherland, L.A., 2010. Environmental grants and regulations in strategic farm business decision-making: A case study of attitudinal behaviour in Scotland. *Land use policy* 27, 415–423. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2009.06.003>
- Thompson, A.W., Reimer, A., Prokopy, L.S., 2015. Farmers’ views of the environment: the influence of competing attitude frames on landscape conservation efforts. *Agric. Human Values* 32, 385–399. <https://doi.org/10.1007/s10460-014-9555-x>
- Trevisan, A.C.D., Schmitt-Filho, A.L., Farley, J., Fantini, A.C., Longo, C., 2016. Farmer perceptions, policy and reforestation in Santa Catarina, Brazil. *Ecol. Econ.* 130, 53–63. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.06.024>
- Valdiones, A.P., Bernasconi, P., 2019. Do papel à prática: a implementação do Código Florestal pelos Estados brasileiros. Instituto Centro de Vida, Cuiabá.
- Varian, H. R., 2012. Microeconomia [recurso eletrônico]: uma abordagem moderna. Tradução Elfo Ricardo Doninelli. Rio de Janeiro: Elsevier.
- van Dijk, W.F.A., Lokhorst, A.M., Berendse, F., Snoo, G.R. de, 2016. Factors underlying farmers’ intentions to perform unsubsidised agri-environmental measures. *Land use policy* 59, 207–216. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.09.003>
- Verdélío, A., 2015. Implementação do Código Florestal ainda é desafio, dizem ONGs. Agência

Brasil. Available: <http://www.ebc.com.br/noticias/2015/05/implementacao-do-codigo-florestal-ainda-e-desafio-dizem-ongs> (accessed February 13, 19).

Villela, A.A., Freitas, M.V., 2012. O ciclo do carbono e emissões no uso do solo e da biomassa. In. Emissões de carbono na mudança de uso do solo. Villela, A.A., Freitas, M.V, Rosa, L.P. Rio de Janeiro: Interciência, 210 p.

Zhang, Q., Xiao, H., Duan, M., Zhang, X., Yu, Z., 2015. Farmers' attitudes towards the introduction of agri-environmental measures in agricultural infrastructure projects in China: Evidence from Beijing and Changsha. *Land use policy* 49, 92–103. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.07.021>

APÊNDICE A – MATERIAL SUPLEMENTAR SEÇÃO 3

Table S3.1. CAR's status in the states of Pará and Mato Grosso.

| CAR's status | Pará | | Mato Grosso | |
|---|---------|-------|-------------|-------|
| | n | % | n | % |
| CAR dataset | 198,860 | 100 | 129,687* | 100 |
| 1. Analyzed | 89,168 | 44.84 | 2,153 | 1.66 |
| 1.1. No pending | 191 | 0.21 | 249 | 11.57 |
| 1.2. With pending | 87,896 | 98.57 | 941 | 43.71 |
| 1.2.1. Awaiting submission of documents | 37 | 0.04 | 4 | 0.43 |
| 1.2.2. Awaiting compliance with other restrictions | 5 | 0.01 | 14 | 1.49 |
| 1.2.3. Awaiting adjustment | 2,182 | 2.48 | 616 | 65.46 |
| 1.2.4. Awaiting adjustment and/or submission of documents | 85,446 | 97.21 | 75 | 7.97 |
| 1.2.5. Awaiting for environmental regularization | 226 | 0.26 | 232 | 24.65 |
| 1.3. Canceled | 1,081 | 1.21 | 963 | 44.73 |
| 1.3.1. By administrative decision | 923 | 85.38 | 673 | 69.89 |
| 1.3.2. By judicial decision | 158 | 14.62 | 290 | 30.11 |
| 2. In analysis | 219 | 0.11 | 213 | 0.16 |
| 3. Awaiting analysis | 109,473 | 55.05 | 127,321 | 98.18 |

Source: SFB (2018). * Deleted 10 CARs with the same identification code.

We also used other ancillary data such as: indigenous lands (TI) vectors (FUNAI, n.d.), *quilombolas* areas (AQ) and rural settlement (RA) (INCRA, 2018) and administrative boundaries (IBGE, 2015). All available in shapefile format and SIRGAS 2000 coordinates and datum.

Table S3.2. Dataset analyzed.

| Description | Pará | Mato Grosso | Total |
|--|---------|-------------|---------|
| | n | n | n |
| 1. CAR (update on 22/08/2018) | 198,860 | 129,697 | 328,557 |
| 1.1. duplicate registrations | 0 | 10 | 10 |
| 1.2. registers with centroids within AR, AQ and TI | 70,719 | 26,533 | 97,252 |
| 1.3. registers with centroids outside of AR, TQ and TI | 128,141 | 103,154 | 231,295 |
| 1.3.1. registrations canceled by decision ADM or JUD | 888 | 949 | 1,837 |
| 1.3.2. registers as PCT and/or AST | 137 | 70 | 207 |
| 1.3.2.1. registers with centroid within PCT and/or AST | 2,942 | 2,172 | 5,114 |
| 1.3.3. registrations with a problem in topology | 1 | 0 | 1 |
| 1.3.4. CAR analyzed | 124,173 | 99,963 | 224,136 |
| 2. SIGEF private (update on 23/08/2018) | 8,517 | 35,526 | 44,043 |
| 3. Data declared and observed | 163,792 | 98,527 | 262,319 |
| 4. CAR's questionnaire | 169,114 | 111,710 | 280,824 |
| 4.1. Intersection between 4 and 3 | 163,404 | 97,821 | 261,225 |

AR - rural settlements; TQ – *quilombolas* areas; TI - indigenous lands; ADM - Administrative; JUD - Judicial; PCT - CAR of traditional communities; AST - CAR of rural settlements; and SIGEF – land management system.

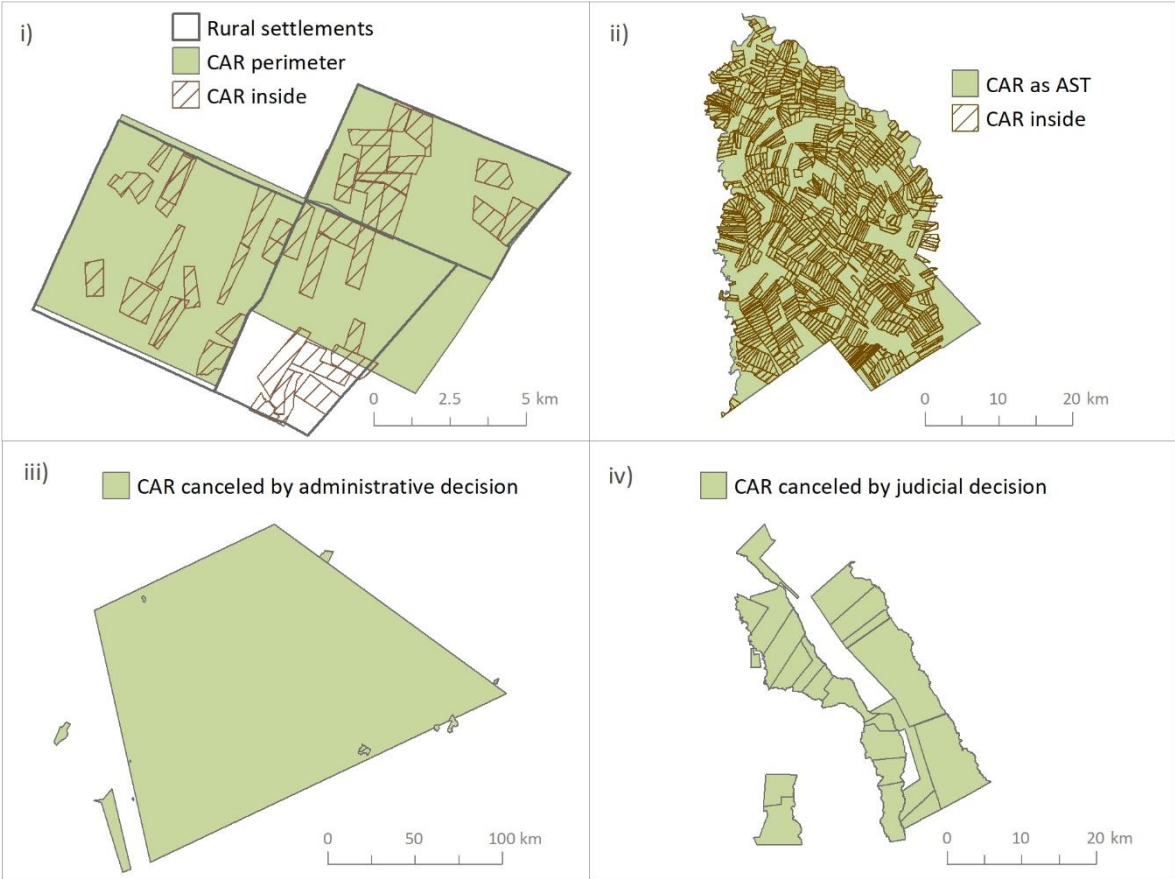


Figure S3.1. Examples of CAR data removed.

Table S3.3. Variables used to identify determinants of overlap and pendency in the CAR.

| ID | Variable | Description | Source |
|----|-------------------------|--|--------------|
| 1 | Property size | Property area in hectares. | CAR |
| 2 | Amazon Fund | Average rate of Reais of the Amazon Fund invested in the environmental regularization and CAR by the area of the municipality in the period from 2010 to 2017. | Amazon Fund |
| 3 | NGOs | Presence or absence of NGOs from 2008 to 2012. | - |
| 4 | Price agricultural land | Average price of agricultural land in Reais in the period from 2007 to 2015. | FGV |
| 5 | Price cattle land | Average price of cattle ranching land in Reais in the period from 2007 to 2015. | |
| 6 | HDI income | Human Development Index (HDI) based on income for 2010. | Atlas Brazil |
| 7 | Private land | Rate of rural properties that obtained land through private purchase - preliminary results 2017. | IBGE |
| 8 | Inheritance or donation | Rate of rural properties that obtained land by inheritance or donation - preliminary results 2017. | |
| 9 | Financing | Rate of rural properties that obtained financing / loans - preliminary results 2017. | |
| 10 | Women | Rate of rural properties with women ahead - preliminary results 2017. | |
| 11 | Lack of schooling | Rate of rural properties with producers who have never attended school - preliminary results 2017. | MapBiomass |
| 12 | Deforestation | Rate of natural vegetation lost between 2000 and 2017. | |
| 13 | Cattle ranching | Rate of pasture cover in 2017. | |
| 14 | Agricultural land-use | Agricultural coverage rate in 2017. | |
| 15 | Mosaic | Cover rate of the agriculture or pasture mosaic 2017. | CPT/LAPIG |
| 16 | Death threat | Death threat rate per 100 people in countryside from 2007 to 2016. | |
| 17 | Murder | Murder rate per 100 people in the countryside from 2007 to 2016. | |
| 18 | Occupations | Land occupation rate per 100 people in the countryside from 2007 to 2016. | |
| 19 | Overexploitation | Overexploitation rate per 100 people from 2007 to 2015. | |
| 20 | Slave labor | Slave labor rate per 100 people in the countryside from 2008 to 2016. | |

FGV - Fundação Getulio Vargas; IBGE - Brazilian Institute of Geography and Statistics; LAPIG - Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento; and CPT - Comissão Pastoral da Terra.

Results

Quality of CAR

Table S3.4. Signal of the coefficients estimated in the logistic models for the individual indices: overlap and CAR vs. INCRA.

| | Index 1: overlap | | | Index 2: CAR vs. INCRA | | |
|----------------------------|------------------|--------------|--------------|------------------------|--------------|--------------|
| | up to 4 MF | 4-15 MF | > 15 MF | up to 4 MF | 4-15 MF | > 15 MF |
| (Intercept) | -4.8E+00 *** | -6.3E+00 *** | -4.8E+00 *** | 5.4E+00 *** | 2.3E+00 *** | 1.7E+00 ** |
| Property size (ha) | 2.2E-04 * | 4.7E-04 *** | 4.4E-06 . | -1.6E-03 *** | 1.7E-04 * | -1.3E-05 *** |
| Death threat | 6.0E-01 *** | 4.4E-01 ** | 4.3E-01 * | -2.3E+00 *** | 6.7E-01 ** | 7.3E-01 ** |
| Murder | -2.1E-01 *** | 2.3E-01 ** | 2.0E-01 * | 7.9E-01 *** | | -2.3E-01 . |
| Occupations | -4.3E-04 *** | -1.7E-03 *** | -2.0E-03 *** | -8.2E-04 *** | -6.4E-04 ** | |
| Overexploitation | - - | - - | - - | 3.8E-02 ** | | |
| Slave labor | -2.4E-02 *** | -3.0E-02 ** | - - | 6.2E-02 *** | -2.4E-02 * | -4.5E-02 *** |
| Bought from private | 1.8E-01 ** | - - | 1.0E+00 *** | 2.2E+00 *** | 1.2E+00 *** | 5.1E-01 * |
| Inheritance or donation | 7.1E-01 *** | 6.9E-01 *** | - - | | | |
| HDI income | 1.4E+00 *** | 2.2E+00 *** | 1.6E+00 *** | -7.0E+00 *** | | |
| Financing | 4.1E+00 *** | 6.3E+00 *** | 4.3E+00 *** | 3.2E+00 *** | | |
| Price of agricultural land | -5.6E-05 *** | 3.2E-05 *** | 8.6E-05 *** | 9.4E-05 *** | 6.4E-05 *** | 4.6E-05 *** |
| Price of livestock land | 3.5E-04 *** | 2.8E-04 *** | - - | -3.6E-04 *** | -4.7E-04 *** | -3.2E-04 *** |
| Lack of schooling | 2.1E+00 *** | -1.3E+00 ** | -1.7E+00 *** | -2.9E+00 *** | | |
| Women | -8.2E-01 *** | - - | 2.7E+00 *** | 8.3E+00 *** | 3.9E+00 *** | 1.7E+00 * |
| Deforestation | 3.0E-01 ** | 5.1E-01 * | 1.5E+00 *** | -1.4E+00 *** | | |
| Cattle ranching | -1.7E+00 *** | -1.8E+00 *** | -2.2E+00 *** | 1.7E+00 *** | 1.2E+00 *** | 8.2E-01 *** |
| Agricultural land-use | 8.2E-01 *** | -2.8E+00 *** | -3.1E+00 *** | 6.4E-01 ** | 9.8E-01 ** | |
| Mosaic | 8.0E-01 * | -3.9E+00 *** | -5.0E+00 *** | -7.2E+00 *** | -6.4E+00 *** | -2.6E+00 . |
| Presence of NGOs | 1.6E-01 *** | 3.1E-01 *** | - - | -4.2E-01 *** | | |
| Amazon Fund | - - | -2.3E+00 *** | -2.7E+00 *** | | | |

Table S3.5. Signal of the coefficients estimated in the logistic models for the individual indices: Declared vs Observed and Recognition.

| | Index 3: Declared vs. Observed | | | Index 4: Recognition | | |
|----------------------------|--------------------------------|--------------|--------------|----------------------|--------------|--------------|
| | up to 4 MF | 4-15 MF | > 15 MF | up to 4 MF | 4-15 MF | > 15 MF |
| (Intercept) | -6.1E+00 *** | -1.2E+01 *** | -1.3E+01 *** | 4.9E+00 *** | 1.7E+00 *** | 1.9E+00 *** |
| Property size (ha) | -6.4E-03 *** | 2.3E-04 * | | 6.4E-04 *** | 5.4E-04 *** | -5.1E-06 * |
| Death threat | 7.1E-01 *** | | -1.0E+00 ** | | | -3.6E-01 . |
| Murder | -3.8E-01 *** | 1.0E+00 *** | 1.5E+00 *** | 2.8E-01 *** | 5.9E-01 *** | 8.0E-01 *** |
| Occupations | -5.2E-04 *** | -3.3E-03 *** | -3.4E-03 *** | -4.9E-04 *** | -8.4E-04 *** | -1.1E-03 *** |
| Overexploitation | 3.6E-02 *** | | | -6.3E-02 *** | 4.5E-02 ** | 7.5E-02 *** |
| Slave labor | -2.0E-02 *** | 3.4E-02 . | 6.6E-02 ** | 4.9E-02 *** | 4.2E-02 *** | 6.6E-02 *** |
| Bought from private | 2.0E-01 * | 5.0E-01 . | 1.5E+00 *** | 6.5E-01 *** | 3.5E-01 * | |
| Inheritance or donation | 2.3E-01 * | 2.3E+00 *** | 2.7E+00 *** | -1.7E-01 * | 6.3E-01 ** | 7.6E-01 ** |
| HDI income | 4.4E+00 *** | 1.3E+01 *** | 1.5E+01 *** | -6.3E+00 *** | -1.8E+00 *** | -1.7E+00 ** |
| Financing | 1.4E+00 *** | 7.8E-01 * | 5.9E-01 | -2.0E+00 *** | -4.7E-01 * | |
| Price of agricultural land | -1.1E-04 *** | 6.4E-06 | 1.3E-04 *** | -9.3E-05 *** | -4.2E-05 *** | -3.4E-05 *** |
| Price of livestock land | 6.3E-04 *** | 4.7E-04 *** | | -2.7E-04 *** | -2.1E-04 *** | |
| Lack of schooling | 3.1E+00 *** | | | 3.9E+00 *** | 2.6E+00 *** | 2.0E+00 *** |
| Women | | | 2.9E+00 ** | 3.8E+00 *** | 4.2E+00 *** | 2.8E+00 *** |
| Deforestation | -4.4E-01 *** | -3.1E+00 *** | -5.0E+00 *** | -1.1E+00 *** | -4.6E-01 * | |
| Cattle ranching | -1.1E+00 *** | -1.4E+00 *** | -1.8E+00 *** | -1.7E-01 *** | | -5.1E-01 ** |
| Agricultural land-use | 2.5E-01 * | -3.9E+00 *** | -4.3E+00 *** | 3.4E+00 *** | 1.7E+00 *** | 6.1E-01 * |
| Mosaic | 4.6E+00 *** | -3.2E+00 . | -7.9E+00 *** | -5.9E+00 *** | -5.4E+00 *** | -9.8E+00 *** |
| Presence of NGOs | 4.0E-01 *** | 6.8E-01 *** | 3.2E-01 ** | 5.2E-01 *** | 1.6E-01 ** | 1.3E-01 . |
| Amazon Fund | -1.5E-01 *** | -4.2E+00 *** | -3.6E+00 *** | | 5.1E-01 ** | 8.8E-01 * |

Index 1: Overlap

Table S3.6. CAR by number of repetitions.

| Number of repetitions | Pará | | Mato Grosso | | Total | |
|-----------------------|-----------|-----------|-------------|-----------|-----------|-----------|
| | Exclusive | Identical | Exclusive | Identical | Exclusive | Identical |
| 2 | 353 | 706 | 176 | 352 | 529 | 1,058 |
| 3 | 4 | 12 | 3 | 9 | 7 | 21 |
| 5 | 1 | 5 | 0 | 0 | 1 | 5 |
| Total | 358 | 723 | 179 | 361 | 537 | 1,084 |

Index 2: CAR x INCRA

Table S3.7. Coverage of SIGEF by CAR data.

| Description | Pará | | Mato Grosso | | Total | |
|-------------------------|-------|-----|-------------|-----|--------|-----|
| | n | % | n | % | n | % |
| 1. SIGEF analyzed | 8,517 | 100 | 35,526 | 100 | 44,043 | 100 |
| 1.1. No overlaps | 7,080 | 83 | 31,038 | 87 | 38,118 | 87 |
| 1.2. Multiple overlaps | 1,437 | 17 | 4,488 | 13 | 5,925 | 13 |
| 1.2.1. Centroid inside | 1,120 | 78 | 2,198 | 49 | 3,318 | 56 |
| 1.2.2. Centroid outside | 317 | 22 | 2,290 | 51 | 2,607 | 44 |

Index 3: Declared x Observed

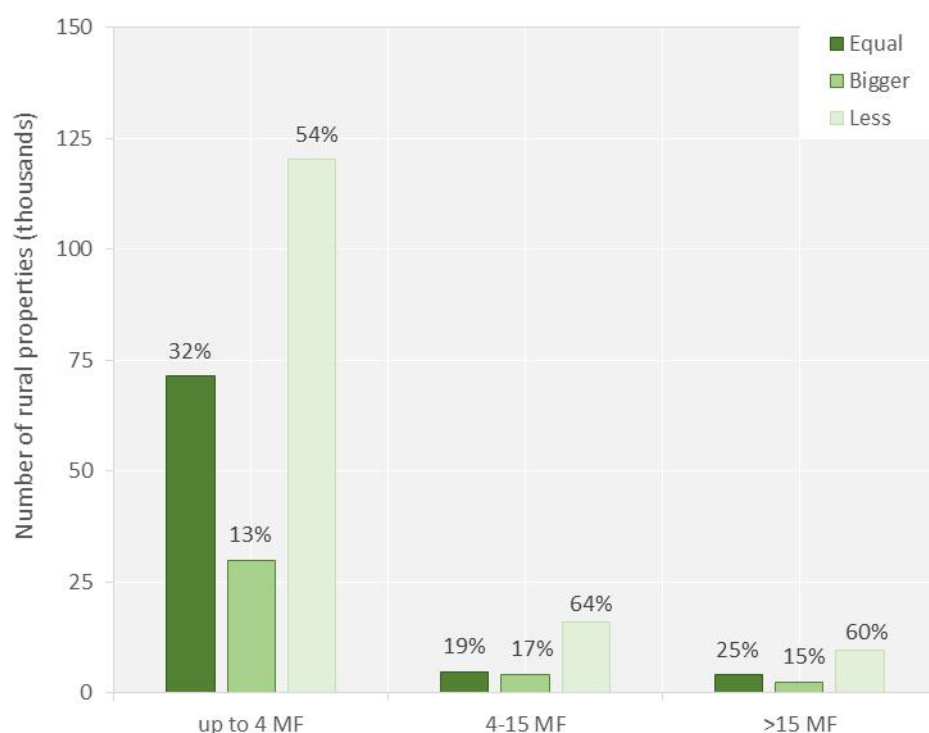


Figure S3.2. Comparison of the area of native vegetation declared in the CAR with the area observed by remote sensing in Pará and Mato Grosso.

Index 4: LR deficit/surplus recognition

Table S3.8. Declarations of deficit and surplus of LR in the CAR's questionnaire.

| Deficit | Surplus | | | | | | | |
|-----------|---------|-------|--------|-------|-----------|------|---------|-----|
| | Yes | | No | | No answer | | Total | |
| | n | % | n | % | n | % | n | % |
| Yes | 173 | 0.06 | 22,170 | 8 | 13< | 0.01 | 22,356 | 8 |
| No | 14,786 | 5 | 74,968 | 27 | 34 | 0.01 | 89,788 | 32 |
| No answer | 2 | <0.01 | 11 | <0.01 | 168,667 | 60 | 168,680 | 60 |
| Total | 14,961 | 5 | 97,149 | 35 | 168,714 | 60 | 280,824 | 100 |

Source: SFB (2017).

Table S3.9. The situation of LR declared *versus* estimated by area of declared vegetation.

| Declared in the CAR's questionnaire ^a | | Estimated from the vegetation declared in the CAR ^b | | | | | | | |
|---|-----------|--|----|---------|----|--------|----|---------|-----|
| | | Deficit | | Surplus | | Null | | Total | |
| | | n | % | n | % | n | % | n | % |
| Deficit | Yes | 13,938 | 72 | 1,782 | 9 | 3,603 | 19 | 19,323 | 100 |
| | No | 48,989 | 62 | 15,085 | 19 | 14,379 | 18 | 78,453 | 100 |
| | No answer | 56,137 | 34 | 52,396 | 32 | 54,916 | 34 | 163,449 | 100 |
| | Total | 119,064 | 46 | 69,263 | 27 | 72,898 | 28 | 261,225 | 100 |
| Surplus | Yes | 4,611 | 36 | 6,011 | 47 | 2,125 | 17 | 12,747 | 100 |
| | No | 58,295 | 69 | 10,853 | 13 | 15,851 | 19 | 84,999 | 100 |
| | No answer | 56,158 | 34 | 52,399 | 32 | 54,922 | 34 | 163,479 | 100 |
| | Total | 119,064 | 46 | 69,263 | 27 | 72,898 | 28 | 261,225 | 100 |

Source: ^a SFB (2017) e ^b Soares-Filho et al. (2017).

APÊNDICE B – MATERIAL SUPLEMENTAR SEÇÃO 4

Table S4.1 Variables analyzed in the study.

| Variable | Type | Description (Source) |
|----------------------------|--------------|--|
| Domain | Qualitative | Property owner characteristic: person or juridical person (SFB 2017) |
| Property size | Qualitative | Classification of the property area: small (up to 4 MF); medium (4-15 MF); or large (>15 MF) (SFB 2017) |
| Document | Qualitative | Type of document the rural producer has of the property: property or land tenure (SFB 2017) |
| Age | Quantitative | Age of producers obtained from the date of birth available at the database (SFB 2017). For inconsistent (e.g. year 1900, 2048) or missing dates were imputed using the average age of the rural population of the municipality where the property is located (IBGE 2010) |
| Vegetation area | Quantitative | Area of vegetation (hectares) registered in the CAR (SFB 2017) |
| LR deficit | Qualitative | Recognition of the RL deficit in the rural property: yes, no, uninformed (SFB 2017) |
| LR situation | Qualitative | LR status estimated from declared vegetation area in the CAR: deficit, surplus or null (Soares-Filho <i>et al</i> 2017) |
| Agricultural | Quantitative | Agricultural coverage rate in % (soy, corn and/or cotton) in the property (Agrosatélite 2017) |
| PRA adhesion | Qualitative | Declaration of the rural producer on joining the PRA: yes or no (SFB 2017) |
| Regularization alternative | Qualitative | Alternatives to regularize the LR: outside the property (compensation) or inside the property (regeneration or recomposition) (SFB 2017) |

Property Information: CAR's Questionnaire

Do you wish to join the Environmental Regularization Program – PRA, if the rural property has (one of the following situations, which occurred until July 22, 2008): need to recompose areas of APP and restricted use; deficit related to the Legal Reserve; infraction notice?

- Yes
- No

Does the rural property have an area with a deficit of native vegetation for the purpose of fulfilling the Legal Reserve?

- Yes
- No

[If yes] Which alternative do you intend to adopt, isolate or jointly, to regularize the deficit?

- Offset the Legal Reserve
- Allow natural regeneration
- Recompose the Legal Reserve

If you do offset, how do you want to offset the area with a deficit?

- Purchase Environmental Reserve Quota – CRA
- Leasing area under environmental servitude or Legal Reserve
- Register an equivalent area of the same ownership, with native vegetation in regeneration or recomposition, provided that it is located in the same biome
- Donating to the public authority the area located inside a public domain conservation unit pending land regularization
- I will not make the compensation

Source: CAR – Registration Module (SFB/MMA, 2016).



Figure S4.1. Regularization alternatives declared in the states of Pará and Mato Grosso.

Table S4.2. Compensation instead of restoration.

| If you do offset, how do you want to offset the area with a deficit? | Natural regeneration | | Recomposition | |
|--|----------------------|--------------|---------------|--------------|
| | PA | MT | PA | MT |
| Leasing area under environmental servitude or LR | 29 (1%) | 31 (1%) | 12 (2%) | 8 (0%) |
| Purchase CRA | 122 (3%) | 205 (4%) | 77 (12%) | 180 (6%) |
| Register an equivalent area of the same ownership | 1,821 (52%) | 346 (7%) | 122 (20%) | 409 (14%) |
| Donating to the public authority the area located inside a public domain conservation unit pending land regularization | 9 (0%) | 229 (4%) | 24 (4%) | 1,009 (34%) |
| I will not make the compensation | 1,546 (44%) | 4,324 (84%) | 387 (62%) | 1,389 (46%) |
| Total | 3,527 (100%) | 5,135 (100%) | 622 (100%) | 2,995 (100%) |

PA – Pará; MT – Mato Grosso.

Table S4.3. Farmers with signed commitment term for environmental regularization in the Mato Grosso.

| Question | Answer | TCR * | | TCC * | | TCC and TCR * | | Total | |
|---|--------------|-------|----|-------|----|---------------|----|-------|-----|
| | | n | % | n | % | n | % | n | % |
| Do you want to join the PRA? ** | Yes | 16 | 73 | 16 | 67 | 3 | 38 | 35 | 65 |
| | No | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | No answer | 3 | 14 | 0 | 0 | 2 | 25 | 5 | 9 |
| | NA | 3 | 14 | 8 | 33 | 3 | 38 | 14 | 26 |
| Do you have an LR deficit? ** | Yes | 3 | 14 | 12 | 50 | 3 | 38 | 18 | 33 |
| | No | 13 | 59 | 4 | 17 | 0 | 0 | 17 | 31 |
| | Uninformed | 3 | 14 | 0 | 0 | 2 | 25 | 5 | 9 |
| | NA | 3 | 14 | 8 | 33 | 3 | 38 | 14 | 26 |
| Which regularization alternative do you intend to adopt? ** | Compensation | 2 | 9 | 12 | 50 | 3 | 38 | 17 | 31 |
| | Regeneration | 1 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 |
| | NA | 19 | 86 | 12 | 50 | 5 | 63 | 36 | 67 |
| LR status (estimated) *** | Deficit | 13 | 59 | 14 | 58 | 4 | 50 | 31 | 57 |
| | Surplus | 5 | 23 | 2 | 8 | 1 | 13 | 8 | 15 |
| | Null | 1 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 |
| | NA | 3 | 14 | 8 | 33 | 3 | 38 | 14 | 26 |
| Total | | 22 | 41 | 24 | 44 | 8 | 15 | 54 | 100 |

TCR – Term of Commitment for Recuperation of degraded area; TCC – Term of Commitment for Compensation of legal reserve area with deficit. Source: * SEMA/MT (2019), ** SFB (2017) and *** Soares-Filho *et al* (2017).

APÊNDICE C – MATERIAL SUPLEMENTAR SEÇÃO 5

Tabela S5.1 Questões exploradas.

O imóvel rural possui área remanescente de vegetação nativa excedente ao mínimo exigido para Reserva Legal?

- Sim
- Não

[Se sim] O que deseja fazer com a área excedente?

- Constituir servidão ambiental
- Disponibilizar para compensação de Reserva Legal mediante arrendamento
- Emitir Cota de Reserva Ambiental – CRA
- Utilizar em outro imóvel de mesma titularidade que possua déficit de remanescente de vegetação nativa, desde que localizada no mesmo bioma
- Utilizar para outros fins

Fonte: Serviço Florestal Brasileiro

Tabela S5.2. Variáveis utilizada na construção do modelo de uso do excedente de RL.

| Variável | Tipo | Descrição |
|------------------|--------------|--|
| Uso do excedente | Qualitativa | Resposta do produtor rural agrupada em conservação ou desmatamento |
| Classe de idade | Qualitativa | Idade do produtor rural classificada em <30 anos, 30-45 anos, 45-55 anos, 55-65 anos ou >65 anos |
| Tipo pessoa | Qualitativa | Imóvel registrado no CAR com domínio de pessoa física ou pessoa jurídica |
| Tipo documento | Qualitativa | Documento do imóvel do tipo propriedade ou posse |
| Tamanho imóvel | Qualitativa | Área do imóvel rural classificada em até 4MF, 4-15 MF ou >15 MF |
| Excedente de RL | Qualitativa | 0-15%, 15-30%, 30-45% ou 45-65% |
| Bioma | Qualitativa | Bioma de localização da maior área do imóvel rural Amazônia, Cerrado ou Pantanal |
| *Área do imóvel | Quantitativa | Tamanho do imóvel rural em hectares |
| *Excedente de RL | Quantitativa | Porcentagem de excedente de RL em relação à área do imóvel rural |
| *Idade | Quantitativa | Idade do produtor rural |

* Variáveis testas na construção do modelo, mas foram descartadas tendo em vista que a geração de categorias resultou em melhor desempenho de classificação.

Tabela S5.3. Síntese dos parâmetros e valores utilizados nas equações de estimativa de emissões.

| Descrição | Parâmetro |
|---|----------------|
| A porcentagem de carbono nos reservatórios de bioma acima do solo | C |
| - Floresta e Campo | 47% |
| Remoção anual de carbono em áreas manejadas | RemF |
| - Amazônia | 0.43 tC/ha/ano |
| - Cerrado | 0.20 tC/ha/ano |
| - Pantanal | 0.32 tC/ha/ano |
| Estoque médio de carbono em área de pastagem | AvAp |
| - Amazônia, Cerrado e Pantanal | 7.57 tC/ha |
| Incremento médio anual de carbono em área agrícola | RemAc |
| - Mato Grosso | 5.04 tC/ha/ano |

Fonte: MCTI (2015)

Tabela S0.4. Identificação dos imóveis rurais com área remanescente de vegetação nativa excedente de RL.

| | | DECLARADO | | | | | | | |
|----------|----------------------------|----------------------------|-----|--------|-----|--------------|-----|--------|-----|
| | | O imóvel possui excedente? | | | | | | | |
| ESTIMADO | O imóvel possui excedente? | Sim | | | | Sem resposta | | | |
| | | Sim | % | Não | % | resposta | % | Total | % |
| | Sim | 6,862 | 64 | 8,966 | 16 | 3,831 | 20 | 19,659 | 23 |
| | Não | 3,847 | 36 | 46,358 | 84 | 15,762 | 80 | 65,967 | 77 |
| | Total | 10,709 | 100 | 55,324 | 100 | 19,593 | 100 | 85,626 | 100 |

Sem resposta: cadastro foi realizado anterior ao modelo nacional que possui o questionário do CAR.

ANEXO – NORMAS PARA REGULARIZAÇÃO AMBIENTAL DE IMÓVEIS RURAIS

Tabela A1 - Sumário das leis, decretos e instruções normativas sobre a regularização ambiental dos imóveis rurais.

| Documento legal | Número | Data | Abrangência | Descrição | Status |
|---------------------|--------|------------|-------------|--|----------|
| Lei | 12651 | 25/05/2012 | Brasil | Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. | Em vigor |
| Decreto | 7830 | 17/10/2012 | Brasil | Dispõe sobre o Sistema de Cadastro Ambiental Rural, o Cadastro Ambiental Rural, estabelece normas de caráter geral aos Programas de Regularização Ambiental, de que trata a Lei no 12.651, de 25 de maio de 2012, e dá outras providências. | Em vigor |
| Decreto | 741 | 29/05/2013 | Pará | Dispõe sobre a prorrogação do prazo para implantação do Programa de Regularização Ambiental – PRA e dá outras providências. | |
| Decreto | 8235 | 05/05/2014 | Brasil | Estabelece normas gerais complementares aos Programas de Regularização Ambiental dos Estados e do Distrito Federal, de que trata o Decreto no 7.830, de 17 de outubro de 2012, institui o Programa Mais Ambiente Brasil, e dá outras providências. | Em vigor |
| Instrução normativa | 2 | 06/05/2014 | Brasil | Dispõe sobre os procedimentos para a integração, execução e compatibilização do Sistema de Cadastro Ambiental Rural – SICAR e define os procedimentos gerais do Cadastro Ambiental Rural – CAR. | Em vigor |
| Decreto | 1052 | 16/05/2014 | Pará | Dispõe sobre a obrigatoriedade do Cadastro Ambiental Rural – CAR-PA para a emissão da Guia de Transporte Animal no Estado do Pará – GTA e concessão de outras licenças e serviços estaduais. | |
| Instrução normativa | 3 | 18/12/2014 | Brasil | Institui a Política de Integração e Segurança da Informação do Sistema de Cadastro Ambiental Rural | Em vigor |
| Decreto | 1379 | 03/09/2015 | Pará | Cria o Programa de Regularização Ambiental dos Imóveis Rurais do Estado do Pará – PRA/PA e dá outras providências. | |

Continuação

| Documento legal | Número | Data | Abrangência | Descrição | Status |
|---------------------|--------|------------|-------------|---|---------------------------------|
| Instrução normativa | 11 | 29/09/2015 | Mato Grosso | Disciplina os procedimentos técnicos e administrativos da análise e validação do Cadastro Ambiental Rural – CAR no Estado de Mato Grosso. | |
| Decreto | 420 | 05/02/2016 | Mato Grosso | Dispõe sobre o Cadastro Ambiental Rural – CAR e a Regularização Ambiental de imóveis rurais; implanta o Programa de Regularização Ambiental – PRA no Estado de Mato Grosso e dá outras providências. | Revogado pelo Decreto 1031/2017 |
| Instrução normativa | 1 | 15/02/2016 | Pará | Dispõe sobre os procedimentos e critérios, no âmbito da Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Sustentabilidade – SEMAS/PA, para adesão ao Programa de Regularização Ambiental do Pará – PRA/PA, por proprietários e posseiros rurais, com fins à regularização ambiental de áreas alteradas e/ou degradadas, e dá outras providências. | |
| Portaria | 654 | 07/04/2016 | Pará | Dispõe sobre a implementação do Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural – SICAR como o Sistema Oficial de Cadastro Ambiental do Estado do Pará, que será denominado – SICAR/PA. | |
| Instrução normativa | 2 | 18/05/2016 | Pará | Estabelece os procedimentos e critérios para adequação ambiental dos imóveis, cujo desmatamento tenha ocorrido após 22 de julho de 2008, nos termos da Lei Federal no 12.651, de 25 de maio de 2012, e dá outras providências. | |
| Instrução normativa | 1 | 27/10/2016 | Pará | Dispõe sobre a vinculação da emissão da Guia de Transporte Animal no Estado do Pará – GTA ao Cadastro Ambiental Rural – CAR-PA, integração de sistemas da Agência de Defesa Agropecuária do Estado do Pará-ADEPARÁ e da Secretaria de Estado do Pará – SEMAS, cronograma do processo de integração e dá outras providências. | |
| Decreto | 1653 | 07/12/2016 | Pará | Altera o Decreto Estadual no 1.379, de 3 de setembro de 2015, que cria o Programa de Regularização Ambiental dos Imóveis Rurais do Estado do Pará – PRA, e dá outras providências. | |

Continuação

| Documento legal | Número | Data | Abrangência | Descrição | Status |
|---------------------|--------|------------|-------------|---|---------------------------------|
| Lei complementar | 592 | 26/05/2017 | Mato Grosso | Dispõe sobre o Programa de Regularização Ambiental – PRA, disciplina o Cadastro Ambiental Rural – CAR, a Regularização Ambiental dos Imóveis Rurais e o Licenciamento Ambiental das Atividades poluidoras ou utilizadoras de recursos naturais, no âmbito do Estado de Mato Grosso, e dá outras providências. | Em vigor |
| Decreto | 1031 | 02/06/2017 | Mato Grosso | Regulamenta a Lei Complementar nº 592, de 26 de maio de 2017, no que tange o Programa de Regularização Ambiental, o Sistema Mato-grossense de Cadastro Ambiental – SIMCAR, a inscrição e análise do Cadastro Ambiental Rural. | Em vigor |
| Decreto | 1813 | 04/08/2017 | Pará | Altera o Decreto nº 1.379, de 3 de setembro de 2015, que cria o Programa de Regularização Ambiental dos Imóveis Rurais do Estado do Pará – PRA/PA | |
| Decreto | 1182 | 31/08/2017 | Mato Grosso | Altera e acrescenta dispositivos ao Decreto nº 1.031, de 02 de junho de 2017. | - |
| Decreto | 1253 | 01/11/2017 | Mato Grosso | Regulamenta a Lei Complementar nº 592, de 26 de maio de 2017, no tocante as formas de regularização ambiental nos imóveis rurais. | Revogado pelo Decreto 1491/2018 |
| Decreto | 1317 | 21/12/2017 | Mato Grosso | Altera o parágrafo único do art. 21 do Decreto 1.031, de 02 de junho de 2017. | - |
| Decreto | 1952 | 28/12/2017 | Pará | Altera o Decreto Estadual nº 1.379, de 3 de setembro de 2015, que cria o Programa de Regularização Ambiental dos Imóveis Rurais do Estado do Pará (PRA/PA). | |
| Decreto | 1340 | 19/01/2018 | Mato Grosso | Altera o § 1º do artigo 3º e o parágrafo único do artigo 21 do Decreto 1.031, de 02 de junho de 2017. | - |
| Instrução normativa | 3 | 22/03/2018 | Pará | Estabelece os critérios de habilitação dos municípios do estado do Pará para a realização da Análise do Cadastro Ambiental Rural -CAR, por intermédio do módulo análise do Sistema de Cadastro Ambiental Rural- SICAR/PA. | |

Continuação

| Documento legal | Número | Data | Abrangência | Descrição | Status |
|-------------------|--------|------------|-------------|---|----------|
| Decreto | 1491 | 15/05/2018 | Mato Grosso | Regulamenta a Lei Complementar nº 592, de 26 de maio de 2017, no tocante as formas de regularização ambiental nos imóveis rurais e altera dispositivos do Decreto nº 1031 de 02 de junho de 2017. | Em vigor |
| Decreto | 1593 | 19/07/2018 | Mato Grosso | Altera o § 1º do artigo 3º e o parágrafo único do artigo 21 do Decreto 1.031, de 02 de junho de 2017. | - |
| Medida provisória | 867 | 26/12/2018 | Brasil | Altera a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, para dispor sobre a extensão do prazo para adesão ao Programa de Regularização Ambiental. | |
| Decreto | 9640 | 27/12/2018 | Brasil | Regulamenta a Cota de Reserva Ambiental, instituída pelo art. 44 da Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. | Em vigor |
| Decreto | 3 | 04/01/2019 | Mato Grosso | Altera o parágrafo único do artigo 21 do Decreto 1.031, de 02 de junho de 2017. | Em vigor |
| Decreto | 2190 | 21/092018 | Pará | Dispõe sobre a compensação de Reserva Legal em regime de servidão no Estado do Pará e dá outras providências. | |