

Do imóvel rural à escala municipal: o uso de sensoriamento remoto e geoprocessamento no diagnóstico ambiental e na aplicação do Código Florestal

Edenise Garcia¹
Jailson Soares de Souza Filho²
Raphael Souza Vale^{1,3}
Teresa Moreira¹
Cíntia Palheta Balieiro¹
Giovanni Matheus Mallmann¹

¹ The Nature Conservancy - TNC
Belém - PA, Brasil
{egarcia, rvale, tmoreira, cbalieiro, gmallmann}@tnc.org

² Universidade do Estado do Pará - UEPA
Belém - PA, Brasil
engsoaresfilho@gmail.com

³ Universidade Federal do Pará - UFPA
Belém - PA, Brasil
rvale@tnc.org

Abstract: This paper presents a description of the methodological steps developed in support to the elaboration of environmental diagnosis, both individually and in scale, of rural properties with rural environmental registry (CAR). The approach includes the elaboration of vegetation cover maps for July 2008, date used as the legal framework of the New Forest Code (NFC), as well as the development of automated geoprocessing tools allowing the integration of multiple spatial databases and the incorporation of provisions established by the NFC. The proposed methodology was applied to the municipalities of Santarém, Belterra and Mojuí dos Campos, in Pará State. More than 3,000 rural properties with CAR on 07/10/2015 were analyzed in the three municipalities, comprising an area of 418,406 ha. In 67% of the analyzed area, forest remnants were observed. Only 46 of the analyzed properties presented environmental liabilities subject to compensation in other areas, for a total of 6,428 ha. Most of the properties showed areas that needed to be restored in situ, in a total of 11,355 ha. The balance of liabilities and environmental assets in the municipalities indicated an excess of forested area, relatively to the law requirements, of 90,000 ha, distributed among 1,747 properties, and thus the potential for generation of Environmental Reserve Quotas (CRA), which allow for the offsetting of legal reserve liabilities. Overall, the proposed methodology proved to be accurate and quick to implement, providing an important subsidy not only for the implementation of the Environmental Regularization Program but also for territorial planning.

Palavras-chave: Environmental diagnosis, environmental compliance, Rural Environmental Registry - CAR, Environmental Reserve Quotas - CRA, Amazon; diagnóstico ambiental, adequação ambiental, Cadastro Ambiental Rural – CAR, Cotas de Reserva Ambiental – CRA, Amazônia.

1. Introdução

Em uma região de dimensões quase continentais, infraestrutura precária e desafios complexos como a Amazônia, o uso de metodologias baseadas em técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento vem se destacando como essencial ao apoio da gestão e planejamento ambiental e territorial. Essas metodologias são particularmente importantes no caso do Cadastro Ambiental Rural (CAR), registro eletrônico obrigatório de imóveis rurais segundo o Novo Código Florestal (Lei 12.651/12). O CAR contém informações georreferenciadas dos imóveis e tem como objetivo proporcionar um diagnóstico detalhado da situação ambiental dos imóveis e de suas necessidades de adequação ambiental. De acordo com o Código Florestal, as propriedades rurais devem manter uma porcentagem de sua área coberta por vegetação nativa, a chamada reserva legal (RL). A área de RL pode variar de 20% a 80% da propriedade, segundo o bioma em que a mesma se localiza. O Código Florestal prevê

também áreas de preservação permanente (APP), como as margens de corpos d'água e nascentes, e os topos e encostas de morros. As propriedades rurais que não atendem aos percentuais acima ou que desmataram vegetação de APP apresentam passivos ambientais e precisam ser regularizadas. Áreas de APP ou de RL desmatadas após julho de 2008 devem ser restauradas in situ por meio de plantio de sementes ou mudas, ou via regeneração natural, onde viável. Áreas de RL desmatadas antes de julho de 2008 podem ser compensadas por meio das Cotas de Reserva Ambiental (CRA). Cada CRA corresponde a 1 hectare (ha) e pode ser criada em: i) áreas de servidão florestal; ii) reserva particular do patrimônio natural (RPPN); iii) unidade de conservação de domínio público que ainda não tenha sido desapropriada; e iv) propriedades que tenham excesso de reserva legal. Um dos pré-requisitos para a criação de CRA é que as propriedades rurais tenham CAR. Além disso, o novo marco regulatório também estabeleceu regras distintas para imóveis que possuam área total igual ou inferior a quatro módulos fiscais, impondo grande complexidade à sua aplicação de forma eficiente e eficaz em um cenário estimado pelo Instituto Nacional de Reforma Agrária em aproximadamente 5,5 milhões de imóveis rurais no Brasil. O diagnóstico ambiental é, portanto, um processo complexo, que necessita do conhecimento da situação atual do imóvel rural em relação ao marco legal do Código Florestal (julho de 2008), e pode ser bastante demorado quando se parte da análise individual do imóvel para uma abordagem de planejamento, implantação e monitoramento de políticas públicas em escala.

Este estudo apresenta uma descrição das etapas metodológicas desenvolvidas pela The Nature Conservancy (TNC) para a elaboração de diagnósticos ambientais, tanto individuais como em escala, de imóveis rurais com CAR. A abordagem inclui a elaboração de mapas de cobertura vegetal em julho de 2008, bem como o uso de ferramentas automatizadas de geoprocessamento que permitem a integração de múltiplas bases de dados espaciais e a incorporação das exigências estabelecidas pelo Novo Código Florestal. A metodologia proposta é aplicada aos municípios de Santarém, Belterra e Mojuí dos Campos, no estado do Pará, e apresenta como resultados o diagnóstico ambiental dos imóveis rurais, o balanço dos passivos e ativos ambientais e uma estimativa do potencial de geração de CRA nos três municípios.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Área de Estudo

A área de estudo localiza-se na confluência do Rio Amazonas com os rios Curuá-Una e Tapajós, no estado do Pará (Figura 1) e compreende os municípios de Santarém, Belterra e Mojuí dos Campos. Os três municípios ocupam uma área total de 27.212 km², dos quais 24,6% correspondem a unidades de conservação e 2,9% a terras indígenas (Tabela 1). A área municipal passível de CAR totaliza 16.065 km², sendo que quase metade dessa área (7.271 km²) está localizada em projetos de assentamento rural. Foram considerados neste estudo somente imóveis com CAR situados fora de áreas protegidas.

Tabela 1: Limites municipais, áreas protegidas e área cadastrável dos municípios estudados.

Município	Área do município (km ²)	Unidade de conservação (km ²)	Terra indígena (km ²)	Área cadastrável (km ²)
Santarém	17.861	4.591	423	9.197
Belterra	4.386	2.111	373	1.902
Mojuí dos Campos	4.966	0	0	4.966
Total	27.212	6.702	795	16.065

2.2 Banco de Dados

Para elaboração do diagnóstico ambiental de imóveis rurais, inicialmente foi construído um banco de dados espaciais com as seguintes camadas:

- 2.2.1 Base digital georreferenciada (BDG) e mapa de uso: base de dados de alta precisão geométrica, incluindo sistema viário, hidrografia, limites municipais e localidades, e mapa de uso do solo de 2011/2012, elaborados pela TNC a partir de imagens SPOT 5 2,5 m e RapidEye 5 m (Balieiro et al., 2014), com base nos parâmetros estabelecidos pela Instrução Normativa nº 8/12 da Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Sustentabilidade (SEMAS) do Pará.
- 2.2.2 Base de CAR: dados de CAR disponíveis na base do SIMLAM (Sistema Integrado de Monitoramento e Licenciamento Ambiental) da SEMAS em 07/10/2015. Inicialmente, os dados dos imóveis cadastrados foram avaliados quanto a problemas de sobreposição, deslocamento e localização. Os limites das propriedades foram sobrepostos com as BDG e o mosaico de imagens SPOT 5, para ajustes topológicos (Figura 2). Para verificação final, foi utilizada a extensão de análise topológica do software ArcGIS 10.2.

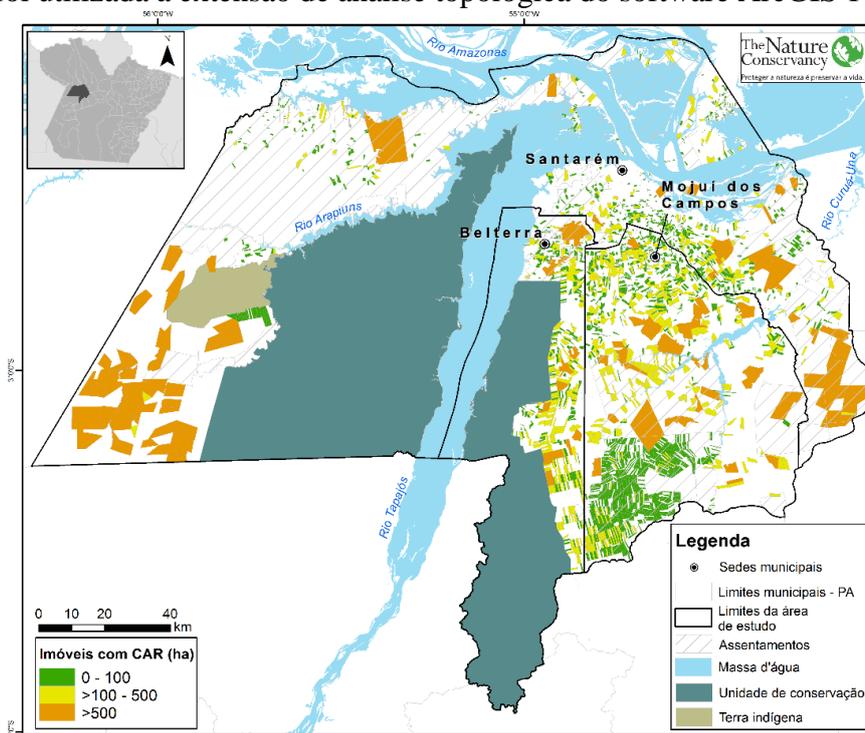


Figura 1. Localização dos municípios de Santarém, Belterra e Mojuí dos Campos e distribuição, por classe de tamanho, dos imóveis rurais com CAR.

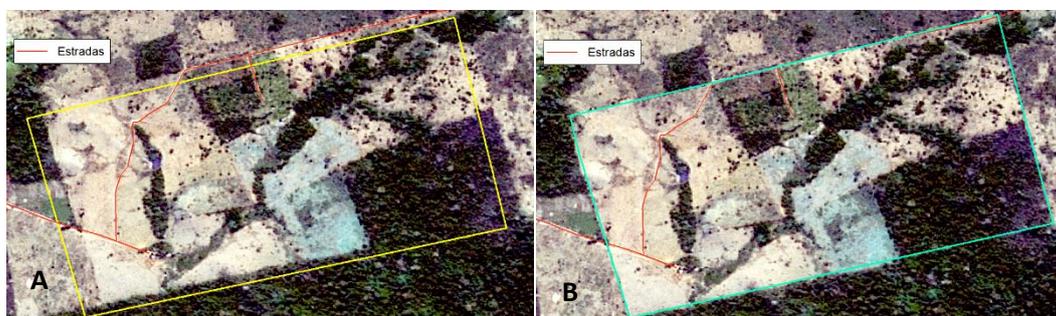


Figura 2. Exemplo de imóvel rural com problemas de deslocamento, em amarelo (A); e imóvel ajustado, em verde (B).

- 2.2.3 Mapa de Cobertura Vegetal 2008: elaborado para a área passível de CAR dos municípios de Santarém, Belterra e Mojuí dos Campos, a fim de servir como linha de base para a aplicação do Código Florestal (CF). Foram utilizadas imagens de satélite Landsat TM 5

dos anos de 2003, 2005 e 2008, nas órbitas/ponto 227/61, 227/62, 227/63, 228/61 e 228/62. As cenas foram registradas com base no mosaico RapidEye (5 m), com a qualidade geométrica compatível com a escala de propriedade rural; procedimentos de realce e equalização foram aplicados às imagens para geração dos mosaicos individuais para cada município. Para o mapeamento foi aplicada às cenas individuais a classificação automática não supervisionada Isodata (*Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique*), com 10 iterações. Em seguida, foram geradas as seguintes classes de interesse: com remanescentes florestais (REM), sem remanescentes florestais (AD), massa d'água (MA), área urbanizada (URB) e nuvem e sombra (NI). Posteriormente, foram utilizados filtros espaciais e técnicas de interpretação visual dos dados, por meio da edição matricial dos alvos, para as áreas não identificadas pelo procedimento automático. Na sequência, foi aplicada aos produtos de classificação uma máscara de REM e MA referente à base de cobertura do solo de 2011/2012 (Balieiro et. al., 2014), bem como uma máscara de AD dos anos de 2003 e 2005. A série histórica de imagens Landsat TM5 2003 e 2005 também foi aplicada ao resultado de classificação 2008 para identificação de áreas de regeneração com pousio há pelo menos cinco anos. Como resultado, no mapa de cobertura vegetal, prevaleceram como remanescentes florestais as regiões de REM de 2011/2012 e de 2008, áreas em processo de degradação florestal identificadas em 2011/2012, independentemente do estágio, bem como áreas de regeneração com pousio há pelo menos cinco anos.

2.3 Processamento dos Dados

Para elaboração do diagnóstico ambiental foi utilizado o módulo de geoprocessamento Model Builder, que consiste em um ambiente de programação visual para construção de fluxos de trabalho de geoprocessamento do software ArcGIS 10.2. Esta ferramenta tornou possível a automatização das etapas de geração de informações espaciais, permitindo o cruzamento dos seguintes dados: i) base de CAR; ii) mapa de cobertura vegetal de 2008; iii) mapa de uso do solo 2011/2012; iv) base de APP gerada a partir da BDG, e v) base do Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE) do estado do Pará (SEMAS, 2012) para identificação das áreas consolidadas – informação utilizada para as estimativas referentes à reserva legal. As etapas de elaboração do diagnóstico ambiental são apresentadas no fluxograma da Figura 3.

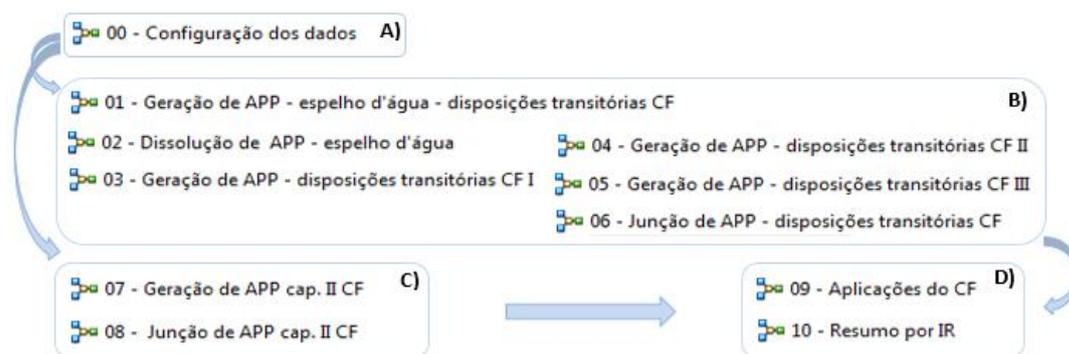


Figura 3. Fluxo de processamento em ambiente *Model Builder* no ArcGIS: configuração e classificação de dados (A), aplicação das disposições transitórias do código florestal para geração de APP (B), aplicação das disposições gerais do código florestal para geração de APP (C), cruzamento com desmatamento pós-2008 para geração de diagnósticos de APP e RL (D).

Na etapa A (configuração dos dados), o modelo classificou e separou as feições de espelho d'água, lagoas e de imóveis rurais de acordo com suas respectivas dimensões e definições (por exemplo, imóveis menores ou maiores que 4 módulos fiscais e lagoas naturais ou artificiais). Posteriormente (etapa B), foi aplicada a leitura das disposições transitórias do CF, ou seja, os

benefícios aplicáveis às áreas rurais abertas no imóvel rural (IR) antes de 22 de julho de 2008 (áreas consolidadas). Essa etapa é constituída por seis módulos. O primeiro (módulo 01) trabalha com a feição espelho d'água, correspondente aos rios com largura acima de 10 m. Para essa feição o modelo gerou faixas de APP para restauração com extensão equivalente à metade da largura do curso d'água, variando de no mínimo 30 m a no máximo 100 m, além de faixas de 5, 8 e de 15 m. Em seguida (módulo 02), os produtos gerados foram submetidos à ferramenta *dissolve* obtendo-se, assim, as camadas de APP de espelhos d'água a restaurar. Subsequentemente, foram geradas faixas de APP para as demais feições (veredas, rios com até 10 m de largura e nascentes – respectivamente módulos 03, 04 e 05). No módulo 06 ocorreu a união das camadas de APP em uma camada única. Na etapa C, aplicou-se a leitura do capítulo II do CF para as APP (referente às medidas totais das áreas de preservação permanente), utilizando a mesma base de dados da etapa A. Esta etapa é composta por dois módulos. O módulo 07 gera faixas de APP para feições de espelho d'água, rios de até 10 m de largura, lagoas, nascentes e veredas. O módulo 08 executa a união das camadas de APP geradas em uma única camada. Por fim (etapa D), foi calculado o desmatamento pós-2008 mediante o cruzamento das bases de uso de 2008 e de 2011/2012 para geração dos diagnósticos de APP (áreas consolidadas em APP, APP remanescente e APP passível de restauração) e para a geração das estimativas e diagnósticos de reserva legal.

3. Resultados e Discussão

3.1 Diagnósticos ambientais

Por meio da automatização do geoprocessamento, foi possível realizar em aproximadamente 4 horas o diagnóstico de 3.136 propriedades rurais com CAR em 07/10/2015 nos municípios de Santarém, Belterra e Mojuí dos Campos. A Figura 4 apresenta, como ilustração, o diagnóstico ambiental produzido para um dos imóveis rurais do município de Santarém. Foram identificadas espacialmente e quantificadas as áreas com potencial para RL segundo as exigências do Código Florestal e as APP ao longo de corpos d'água bem como sua condição (degradada/desmatada ou intacta). Também foram identificados e quantificados excedentes (ativos) e passivos de RL. No caso dos passivos, foi feita a separação em dois grupos: áreas de RL desmatadas em excesso em data anterior a 22 de julho de 2008, que podem ser compensadas por meio de servidão ambiental ou aquisição de CRA, e áreas desmatadas após o marco legal acima, que devem obrigatoriamente ser restauradas in situ.

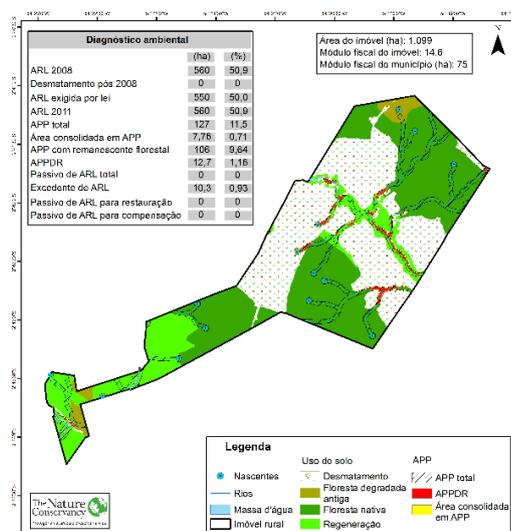


Figura 4. Exemplo de diagnóstico ambiental de um imóvel rural situado no município de Santarém - PA. ARL = área potencial para reserva legal; APP = área de preservação permanente; APPDR = APP desmatada a restaurar.

A distribuição das propriedades analisadas, por classe de tamanho, é mostrada na Tabela 2. A grande maioria dos imóveis diagnosticados (77%) apresentou dimensões de até 100 ha; no entanto, a área conjunta dessas 2.419 propriedades ocupou apenas 28% da área total analisada. Imóveis maiores que 500 ha, embora representassem somente 4,4% do número total de imóveis diagnosticados, ocuparam 46% da área de CAR total analisada.

A área analisada totalizou 418.406 ha, dos quais 259.768 ha corresponderam a propriedades fora de assentamentos e 158.638 ha no interior destes (Figura 5).

Tabela 2. Distribuição, por tamanho, dos imóveis com CAR nos municípios de Santarém, Belterra e Mojuí dos Campos, para os quais foi elaborado o diagnóstico ambiental.

Classes de tamanho (ha)	Área (ha)	Nº de imóveis
0 - 100	117.342	2.419
>100 - 500	107.108	578
>500	193.956	139
Total	418.406	3.136

Em 67% (279.998 ha) da área analisada, foram observados remanescentes florestais, indicando um passivo médio de RL relativamente baixo. De fato, apenas 46 das 3.136 propriedades analisadas apresentaram passivo de RL sujeito à compensação maior que 1 ha, num total de 6.428 ha (Tabela 3). Surpreendentemente para as tendências geralmente observadas na Amazônia, 56% dos imóveis analisados apresentaram ativos de RL que, no total, alcançaram mais de 90 mil ha. Em média, a oferta de CRA na área analisada foi quase sete vezes superior à demanda. Este resultado pode ser explicado em parte pelo fato de que o monitoramento e a imputação de desmatamento ilegal tendem a ser facilitados pelo CAR, o que faz com que proprietários cujos imóveis apresentem déficit de RL sejam os mais resistentes à adesão ao CAR, mesmo sendo o registro obrigatório para todos os imóveis rurais do Brasil. Portanto, o universo de propriedades analisado, compreendendo apenas aquelas registradas, representaria por si mesmo um viés amostral.

Dentre os três municípios, Santarém foi o que apresentou a maior área de ativo de RL, não apenas em número absoluto como também proporcionalmente à área analisada (28% versus 18% em Mojuí dos Campos e 11% em Belterra). Santarém apresentou também um passivo de RL sujeito à compensação, relativamente à área total do município cadastrada, cerca de 10 vezes menor que o passivo dos demais municípios estudados. Como resultado dessa combinação de alto ativo e baixo passivo de RL sujeito à compensação, a oferta de CRA em relação à demanda foi muito maior em Santarém (16 vezes) que em Mojuí dos Campos (4 vezes) ou Belterra (2 vezes).

O diagnóstico ambiental indicou ainda que 74% das propriedades apresentavam passivo de restauração, tanto de RL desmatada após julho de 2008 como de APP, e permitiu também a identificação de mais de 11 mil hectares que, segundo o Código Florestal, deveriam ser restaurados in situ (Figura 6). O passivo total de RL a ser restaurada foi de 7.081 ha, cerca de 10% superior ao passivo de compensação. Essa área representou 1,7% de toda área analisada, sendo similar, em termos relativos, nos três municípios. Por outro lado, nos três municípios foram identificados 44.019 hectares de APP, dos quais 4.274 hectares (cerca de 10%) deveriam ser restaurados. Em Santarém, a área de APP a ser restaurada foi equivalente a 4,5% da área de APP total, ao passo que em Mojuí dos Campos foi de 14,5% e em Belterra, 20%.

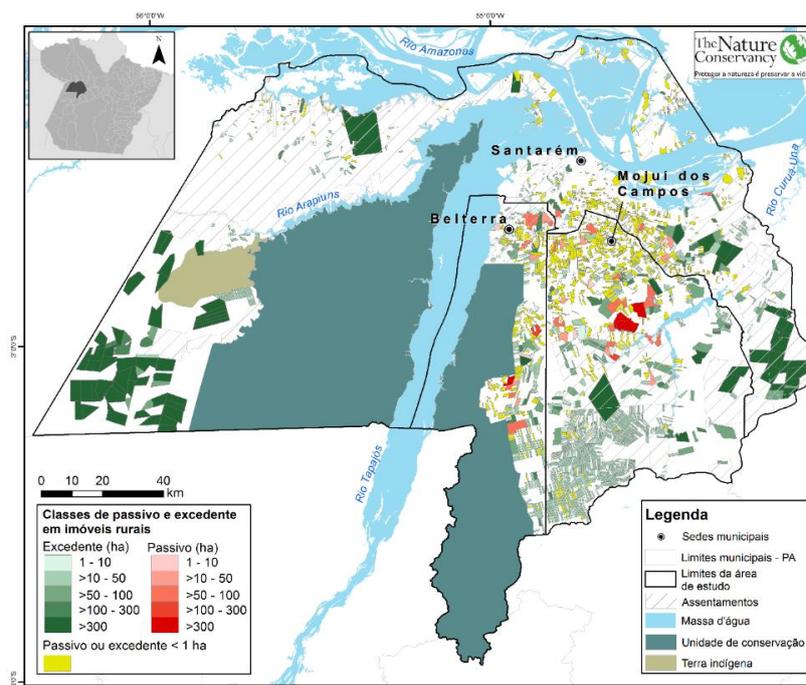


Figura 5. Mapa de distribuição dos diagnósticos de passivos e excedentes de reserva legal dos imóveis rurais nos municípios de Santarém, Belterra e Mojuí dos Campos.

Tabela 3: Distribuição das estimativas de ativos e de passivos de compensação de RL por classe de tamanho dos mesmos em Santarém (STM), Belterra (BEL) e Mojuí dos Campos (MOJ).

Classes de passivo e ativo de RL (ha)		<1	1-10	>10-50	>50-100	>100-300	>300
STM	Nº de imóveis com passivo RL	0	1	2	0	3	0
	Área de passivo (ha)	0	3	70	0	446	0
	Nº de imóveis com ativo RL	73	173	186	24	19	65
	Área de ativo (ha)	5	29	813	4.535	1.642	3.562
BEL	Nº de imóveis com passivo RL	0	2	4	1	7	1
	Área de passivo (ha)	0	5	120	74	1.101	308
	Nº de imóveis com ativo RL	23	68	148	10	5	1
	Área de ativo (ha)	8	10	357	3.662	739	829
MOJ	Nº de imóveis com passivo RL	0	2	6	1	13	3
	Área de passivo (ha)	0	11	212	93	2.311	1.673
	Nº de imóveis com ativo RL	49	172	689	21	35	6
	Área de ativo (ha)	5	11	960	15.973	1.594	5.924

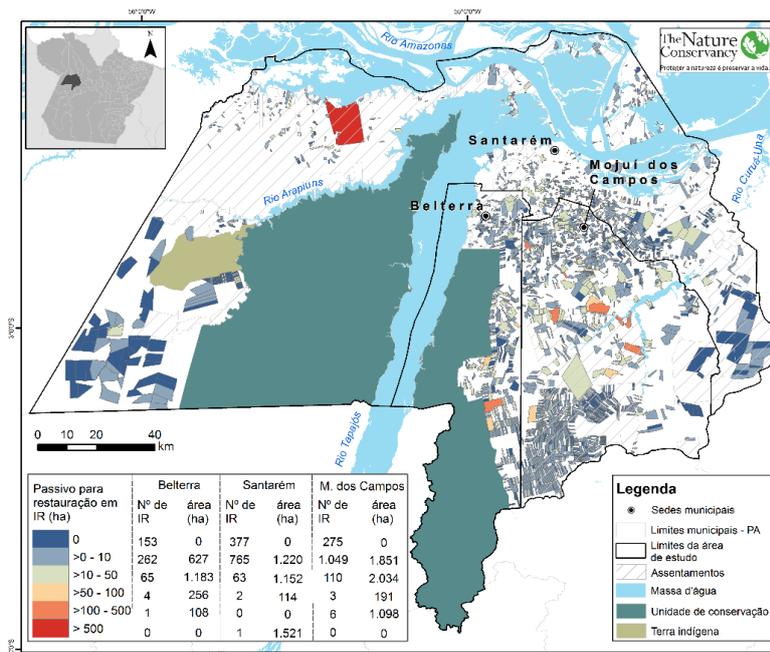


Figura 6. Mapa de distribuição dos passivos de restauração nos imóveis rurais do município de Santarém, Belterra e Mojuí dos Campos, apresentando número (nº) de imóveis com CAR e área de passivo de restauração por classe de tamanho de passivo. IR = imóvel rural.

4. Conclusões

Embora os resultados obtidos em si não sejam o foco maior deste trabalho, eles deixam claro que a metodologia aqui apresentada, além de permitir o acompanhamento individual e em escala do cumprimento do Código Florestal, também pode constituir um importante subsídio à implementação do Programa de Regularização Ambiental. Processada de forma acurada e rápida, a abordagem descrita possibilita dimensionar, inclusive, os esforços técnicos, insumos e recursos financeiros, bem como as oportunidades de estabelecimento de arranjos institucionais necessários à regularização ambiental não só de um imóvel rural, como de um município ou mesmo de uma região.

Finalmente, o conhecimento da distribuição de imóveis rurais e de sua situação ambiental em âmbito municipal e regional é essencial ao planejamento territorial, podendo subsidiar, entre outros, planos de desenvolvimento sustentável, e mesmo ações nas áreas de saúde e educação; além da tomada de decisão, por parte do setor privado, referente a riscos associados à expansão produtiva em determinadas áreas.

Agradecimentos: Os autores agradecem à Diretoria de Geotecnologia (DIGEO) da SEMAS pelo fornecimento da base de CAR. O estudo foi financiado por Cargill.

Referências Bibliográficas

Balieiro, C.P.P.; Malmann, G.; Barros L.P.; Vale, R.S.; Pinho, B.; Gonçalves, E.; Barros, L.; Garcia, E. A Amazônia aos olhos dos satélites Spot 5 e RapidEye. Integração de sensoriamento remoto e SIG em larga escala para cadastramento e adequação ambiental de imóveis rurais no estado do Pará, Brasil. In: Simpósio Internacional - SELPER, Brasil (Associação de Especialistas Latino americanos em Sensoriamento Remoto), XVI, (16), 2014, Colômbia. **Anais.** Disponível em: < <http://selper.org.co/papers-XVI-Simposio/Bases-de-Datos-Geoespaciales/BD2-Amazonia-spot5-RapidEye.pdf>>. Acesso em: 06 mai. 2016.

Brasil. Lei 12.651, de 25 de maio de 2012. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm>. Acesso em: 11 out.2016.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE. Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Pará. Disponível em: <http://www.sema.pa.gov.br/download/zee_2012.pdf>. Acesso em: 16 nov.2016.