

Nota Técnica:

Áreas disponíveis para restauração e compensação de Reserva Legal no Estado de São Paulo

AVISO

As informações apresentadas nesta Nota Técnica têm origem nos resultados dos trabalhos realizados no âmbito do [Projeto Temático Fapesp Nº 2016/17680-2](#) que visa gerar informações científicas que auxiliem na implementação do Novo Código Florestal (Lei nº 12.651/2012) no estado de São Paulo através de um processo de diálogo contínuo entre atores de diferentes setores e a academia.

A maioria das informações já foi publicada ou foi submetida para análise de revistas científicas com corpo editorial e revisão por pares.

Algumas informações contidas nesta Nota, processadas a partir das mesmas bases de dados e tecnologias de modelagem dos dados já publicados, ainda não foram publicadas. Nestes casos, acrescentamos nesta Nota a descrição da metodologia utilizada na forma de Anexo.

Equipe e participação na elaboração da Nota Técnica:

Prof. Gerd Sparovek (USP/ESALQ-GeoLab) – coordenação, supervisão, redação, revisão final

Paulo André Tavares (USP/ESALQ-GeoLab) – processamento de dados (déficits e ativos de compensação), redação

Kaline de Mello (USP/IB - LEPAC) – processamento de dados (equivalência ecológica, restauração), redação, revisão

Alice Brites (USP/ESALQ-GeoLab) – redação, revisão

Jean Paul Metzger (USP/IB - LEPAC) - revisão

Ricardo Ribeiro Rodrigues (USP/ESALQ-LERF) – revisão

Carlos Alfredo Joly (UNICAMP/ Departamento de Biologia Vegetal) - revisão

25 de maio de 2020.

Resumo executivo

Escopo:

Nesta Nota Técnica analisamos a possibilidade de restauração e compensação de Reserva Legal (RL) no Estado de São Paulo (SP) do ponto de vista fundiário, ou seja, da disponibilidade de terras para cada um dos mecanismos disponíveis previstos na Lei Federal 12.651/2012 (Código Florestal) e na sua regulamentação estadual (Lei Estadual 15.684/2015).

A questão fundiária não é a única dimensão de análise a ser considerada na avaliação da melhor forma de combinar ações de restauração ou compensação dos déficits de RL de SP, mas certamente, é a mais objetiva.

Os valores de déficits de RL nos imóveis rurais, as aéreas degradadas sem uso econômico intensivo disponíveis para restauração dentro dos imóveis rurais e as áreas disponíveis para compensação da RL fora dos imóveis rurais nas quatro modalidades previstas no Código Florestal (dentro e fora do Estado de SP), já foram estimados com precisão através de modelagem. Diversos resultados destas estimativas feitas por nosso grupo de pesquisa e por outras equipes da academia e sociedade civil já foram publicados em revistas científicas e outros meios de divulgação.

Para outras dimensões envolvidas na análise da restauração ou compensação dos déficits de RL de SP como, por exemplo: (i) *o funcionamento do mercado de Cotas de Reserva Ambiental – mecanismos ainda não implementado*, (ii) *os custos da restauração considerando os ganhos tecnológicos e de escala que virão com a sua adoção em larga escala*, (iii) *a viabilidade do uso econômico em larga escala da RL, com florestas multifuncionais* ou (iv) *os efeitos sobre o valor das terras em que há ativos disponíveis para compensação de RL dentro e fora de Unidades de Conservação de Proteção Integral*; as incertezas ainda são muito grandes e a literatura científica disponível é ainda restrita para uso em larga escala.

Devido a isto, a análise mais objetiva sobre a restauração e compensação de RL no Estado de SP deve considerar a questão fundiária como seu argumento principal neste momento.

Conclusão da análise:

A Tabela 1 apresenta, por bioma, a área de déficit de RL, a área disponível como ativo de vegetação nativa (VN) para compensação, a área de pastos degradados dentro das propriedades passíveis de restauração e a razão entre déficit e ativo para cada combinação de mecanismos de restauração e compensação de RL para SP.

Tabela 1: Relação entre ativos e déficit de Reserva Legal nas diferentes combinações de mecanismos de restauração e compensação para o Estado de São Paulo.

Bioma	Déficit (mil ha)	Mecanismos (restauração e compensação)	Área de ativos por mecanismo e soma das áreas (mil ha)	Razão da soma das áreas (Ativos / Déficit)
Cerrado	58	Restauração em pasto degradado dentro da propriedade com déficit	20	0,35
		Compensação dentro de SP nas 4 modalidades	119	2,04
		Restauração + compensação dentro de SP nas 4 modalidades	20 + 119 = 139	2,39
		Restauração + compensação dentro de SP + compensação fora de SP nas bacias de benefício muito alto para SP	20 + 119 + 22 = 161	2,78
		Restauração + compensação dentro de SP + compensação fora de SP nas bacias de benefício muito alto e alto	20 + 119 + 207 = 368	6,33
		Restauração + compensação dentro de SP + compensação fora de SP nas bacias de benefício muito alto, alto e médio	20 + 119 + 507 = 875	15,05
Mata Atlântica	270	Restauração em pasto degradado dentro da propriedade com déficit	97	0,36
		Compensação dentro de SP nas 4 modalidades	941	3,49
		Restauração + compensação dentro de SP nas 4 modalidades	97 + 941 = 1.038	3,85
		Restauração + compensação dentro de SP + compensação fora de SP nas bacias de benefício muito alto para SP	97 + 941 + 66 = 1.103	4,09
		Restauração + compensação dentro de SP + compensação fora de SP nas bacias de benefício muito alto e alto	97 + 941 + 266 = 1.370	5,08
		Restauração + compensação dentro de SP + compensação fora de SP nas bacias de benefício muito alto, alto e médio	97 + 941 + 668 = 2.037	7,55

Considerando apenas a VN disponível para compensação dentro de SP de **todos os mecanismos de compensação de RL existentes**; para cada hectare de déficit de RL existem 2,04 ha disponíveis para compensação no Cerrado e 3,49 ha na Mata Atlântica.

Se considerarmos a área de VN disponível de **todos os mecanismos de compensação de RL dentro de SP** somada à área de **pastos degradados passíveis de restauração ecológica ou multifuncional** que ocorrem dentro dos imóveis rurais com déficit; para cada hectare de déficit de RL existem 2,39 ha disponíveis para compensação ou restauração no Cerrado e 3,85 ha na Mata Atlântica.

O total geral de todas as possibilidades de compensação e restauração analisadas nesta nota, considerando a **restauração em pastos degradados** dentro dos imóveis rurais com déficit, a **VN disponível em todos os mecanismos de compensação de RL dentro de SP** e a **compensação em excedentes de VN fora de SP nas bacias hidrográficas com interesse muito alto, alto e médio para SP**; para cada hectare de déficit de RL existem 15,05 ha disponíveis para compensação no Cerrado e 7,55 ha na Mata Atlântica.

Não identificamos nas questões fundiárias analisadas a necessidade de ampliar a possibilidade de compensação para fora de SP a não ser para aquelas em que há benefício direto para o Estado, em termos de provimento de serviços ecossistêmicos, por exemplo, fornecimento de água.

Argumentos e valores que sustentam a conclusão:

O déficit acumulado de VN para atender as exigências de RL do Código Florestal nos imóveis rurais de SP, já considerando a aplicação do Artigo 68 da Lei 12.651/2011, é de **58.157 ha no bioma Cerrado e 269.730 ha no bioma Mata Atlântica**.

A regra geral do Código Florestal, sendo também aquela de maior benefício ambiental pela recomposição da VN ocorrer no exato local do déficit, é a sua restauração no próprio imóvel rural. No entanto, visando preservar o equilíbrio entre o benefício ambiental e a atividade econômica, o Código Florestal prevê, no seu capítulo de Programa de Regularização Ambiental (PRA), quatro modalidades de compensação da RL fora do imóvel rural que podem, neste caso, se estender para fora de SP caso as áreas sejam de interesse especial de conservação além de outros critérios de qualificação. O proprietário ou possuidor de imóvel rural com déficit de RL pode optar por uma combinação destes mecanismos, que não são excludentes. Parte do déficit pode ser restaurado na propriedade e parte pode ser compensado por um ou uma combinação dos mecanismos de compensação.

Visando atender a regra geral do Código Florestal, identificamos as áreas disponíveis para restauração da RL dentro dos imóveis rurais com déficit como aquelas ocupadas por pastagens com baixa aptidão agrícola (pastos

degradados) e, portanto, com baixa produtividade e retorno econômico. Neste caso, a área total disponível para restauração nos imóveis rurais é de **117.044 ha**, sendo **20.248 ha** no bioma Cerrado e **96.796 ha** no bioma Mata Atlântica.

Visando compensação em VN existente dentro de SP, o Cerrado possui em imóveis rurais privados um total de ativos de VN de **118.845 ha** no qual o déficit pode ser compensado, sendo: 42.289 ha em RL de imóveis menores do que 4 Módulos Fiscais (MF) passíveis de emissão de Cotas de Reserva Ambiental (CRA) e 76.557 ha em excedentes de VN nos imóveis menores e maiores do que 4 MF.

Visando compensação em VN existente dentro de SP, a Mata Atlântica possui em imóveis rurais privados um total de ativos de **941.082 ha**, sendo: 246.052 ha em RL de imóveis menores do que 4 MF passíveis de emissão de CRA, 530.190 ha em excedentes de VN nos imóveis menores e maiores do que 4 MF e 164.840 ha em áreas particulares dentro de Unidade de Conservação de Proteção Integral.

As áreas disponíveis para compensação de RL fora de SP, que ocorrem em bacias hidrográficas de interesse de SP em outros Estados, foram analisadas em três escalas: (1) apenas áreas de benefício muito alto para SP com **22.486 ha** no Cerrado e **65.034 ha** na Mata Atlântica, (2) áreas com benefício para SP muito alto e alto com **229.078 ha** para Cerrado e **331.810 ha** para Mata Atlântica e (3) áreas com benefício para SP muito alto, alto e médio com **736.262 ha** no Cerrado e **999.884 ha** na Mata Atlântica.

Detalhamento e Anexos

Objetivo

O objetivo desta Nota Técnica é apresentar os valores das áreas em déficit de Reserva Legal (RL) do Estado de São Paulo (SP) em comparação com as áreas disponíveis para sua restauração dentro dos imóveis rurais em pastagens degradadas, sua compensação dentro de SP através das quatro modalidades previstas no Código Florestal e a extensão da possibilidade de compensação para fora de SP em bacias hidrográficas de interesse para o Estado.

Déficit de Reserva Legal

O déficit total da RL dos imóveis rurais de SP considerando os descontos definidos no PRA em relação aos artigos: 15, 61-A, , 67 e 68 da Lei Federal 12.651/2012, bem como, o artigo 27 da Lei Estadual 15.684/2015) é de **327.887 ha**, sendo **58.157 ha no bioma Cerrado e 269.730 ha na Mata Atlântica**

Restauração e Compensação de Reserva Legal

A restauração da RL dentro do imóvel rural é a regra geral do Código Florestal para o caso de haver déficit. A restauração é priorizada por gerar o benefício ambiental no exato local onde há o déficit, maximizando assim seu efeito. A área disponível para restauração da RL nos imóveis rurais de SP ocupada por pastagens em baixa aptidão agrícola (pastos degradados) é de **20.248 ha para o Cerrado e 96.796 ha para a Mata Atlântica** (Anexo I). Consideramos a restauração apenas em pasto degradados como forma de evitar a contabilização de áreas com usos econômicos mais intensivos como agricultura anual ou semi-perene, fruticultura ou pastos de elevada aptidão agrícola. Com isto excluímos áreas em que a restauração poderia trazer um impacto econômico de médio e longo prazo pela interrupção do uso produtivo da terra.

Além da restauração da RL dentro do imóvel rural com déficit, há quatro formas de compensação de RL fora do imóvel rural prevista no novo Código Florestal (Lei 12.651/12): (1) aquisição de Cota de Reserva Ambiental – CRA; (2) arrendamento de área sob regime de servidão ambiental ou RL; (3) cadastramento de outra área equivalente e excedente à RL, em imóvel de mesma titularidade ou adquirida em imóvel de terceiro e (4) doação ao poder público de área localizada no interior de Unidades de Conservação (UC) de domínio público pendente de regularização fundiária.

Os mecanismos de (2) arrendamento e (3) cadastramento de outra área são possíveis apenas para os excedentes de VN em relação ao Código Florestal.

A CRA permite a compensação dentro de RL constituída dos imóveis menores de 4 módulos fiscais (MF), ou sobre qualquer excedente de VN. Portanto, o total de áreas disponíveis via CRA é a soma dos excedentes de VN com a VN dentro de RL de propriedades menores do que 4 MF (Tabela 2).

Para compensação em UC, consideramos as áreas particulares em UC de Proteção Integral a serem regularizadas – potencialmente disponíveis para compensação.

A seguir apresentamos os valores dos déficits e das áreas disponíveis para compensação por estes diferentes mecanismos nos dois biomas no Estado (Tabela 3; Figura 1).

Tabela 2: Áreas disponíveis para compensação de **CRA**, separados em Reserva Legal de propriedades menores do que 4 Módulos Fiscais e excedentes de vegetação nativa no Estado de São Paulo.

Bioma	Compensação em RL de propriedades menores de 4 MF (ha)	Compensação em Excedentes (ha)	Total (ha)
Cerrado	42.289	76.557	118.845
Mata Atlântica	246.052	530.190	776.242

Tabela 3: Déficit e áreas disponíveis para compensação de Reserva Legal de cada mecanismo de compensação no Estado de São Paulo.

Bioma	Déficit (ha)	CRA (ha)	Servidão & Cadastramento ¹ (ha)	Compensação em UC-PI (ha)
Cerrado	58.157	118.845	76.557	--
Mata Atlântica	269.730	776.242	530.190	164.840

¹ As áreas disponíveis como ativos para servidão ou cadastramento representam excedentes de VN nos imóveis rurais. Como excedente, podem também servir para emissão de CRA, ou seja, o valor destes excedentes também está contabilizado na coluna anterior (CRA).

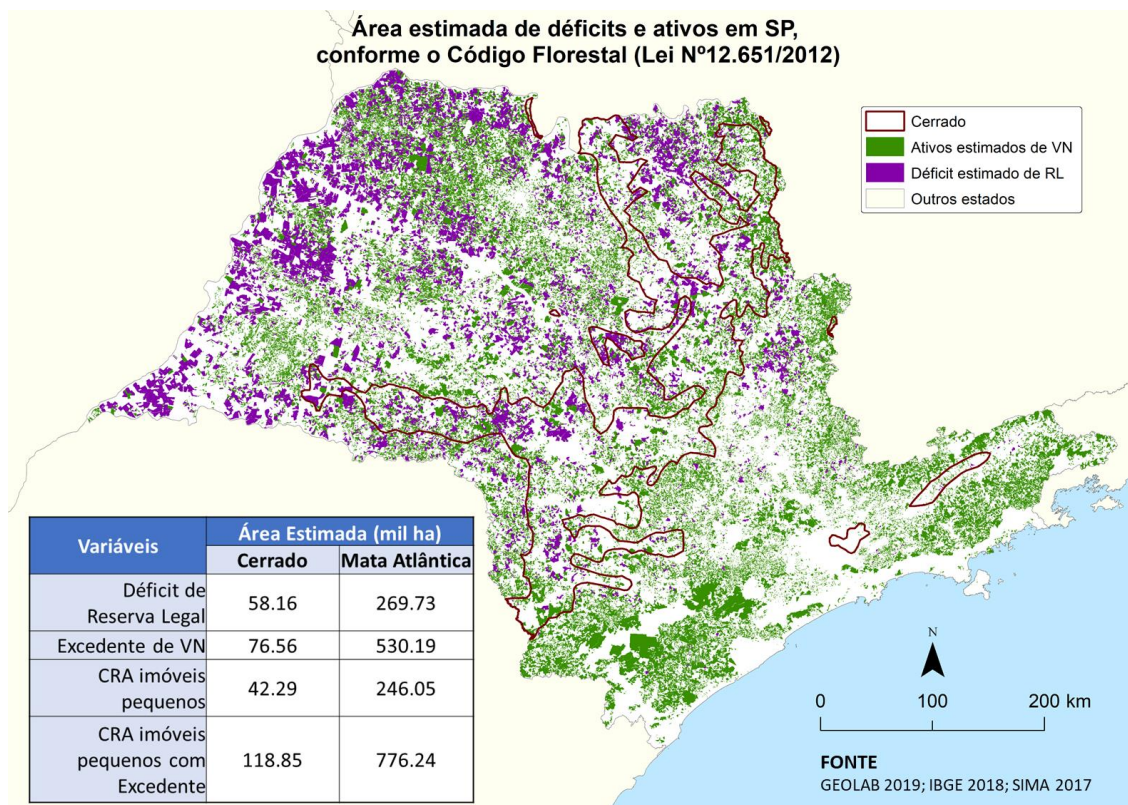


Figura 1: Área estimada de déficit e ativos no Estado de São Paulo.

Compensação de Reserva Legal fora do Estado de São Paulo

Visando contemplar apenas áreas de compensação de RL fora de SP em que há benefício direto consideramos como indicador principal a questão hidrológica das áreas a serem consideradas em outros Estados.

As áreas consideradas de **benefício muito alto** são as porções a montante da divisa de SP das bacias hidrográficas que drenam para o Estado. Neste caso, as cabeceiras das bacias estão no Estado vizinho. As melhorias ambientais promovidas nestas cabeceiras refletem diretamente nos aspectos hidrológicos da porção das bacias que se localiza em SP.

As áreas consideradas de **benefício alto** são as bacias hidrográficas dos estados vizinhos que drenam diretamente para os rios de divisa de SP ao longo do limite de sua divisa. Ou seja, o total destas bacias hidrográficas está localizado fora de SP, mas elas drenam diretamente para os rios de sua divisa e, com isto, influenciam diretamente a hidrologia dos rios de divisa.

As áreas consideradas de **benefício médio** são as cabeceiras das hidrográficas consideradas como tendo benefício alto. Ou seja, não são áreas que drenam diretamente para os rios de divisa, mas, como influenciam as áreas que drenam diretamente, exercem influência indireta sobre estas.

As áreas não enquadradas nestas três escalas foram consideradas com benefício indireto para SP, portanto não passíveis de inclusão como área em que pode haver compensação de RL. Evidentemente haverá o benefício ambiental em contexto amplo de aumento da proteção das áreas compensadas, mas estes benefícios não se refletem diretamente para SP de forma direta.

A forma de estimar as três escalas de análise (menos para mais abrangente), usando diferentes critérios de inclusão de bacias hidrográficas (maior para menor importância) seguiu o seguinte critério cartográfico: (1) bacias hidrográficas (Ottobacias nível 4) que se estendem a outros Estados e que desaguam dentro de SP – muito alto benefício ambiental para SP; (2) bacias hidrográficas (Ottobacias nível 4) que se estendem a outros Estados que desaguam dentro de SP ou nos rios de sua divisa – benefício ambiental para SP alto; (3) bacias hidrográficas (Ottobacias nível 3) que se estendem a outros Estados ou se localizam em outros Estados que desaguam dentro de SP ou nos rios de sua divisa – baixo benefício ambiental para SP médio (Figura 2).

Para a escala 1 (benefício muito alto), as áreas disponíveis para compensação (RL de imóveis < 4 MF + excedentes de VN) é de **22.486 ha no Cerrado e 65.934 ha na Mata Atlântica**. Na escala 2 (muito alto e alto benefício), os valores são de **229.078 ha no Cerrado e 331.810 ha na Mata Atlântica**. Na escala 3 (muito alto, alto e médio benefício), os valores são de **736.262 ha no Cerrado e 999.884 ha na Mata Atlântica**. O anexo II apresenta os valores por Estado e por bioma, e o comparativo dos ativos e déficits nas 3 escalas.

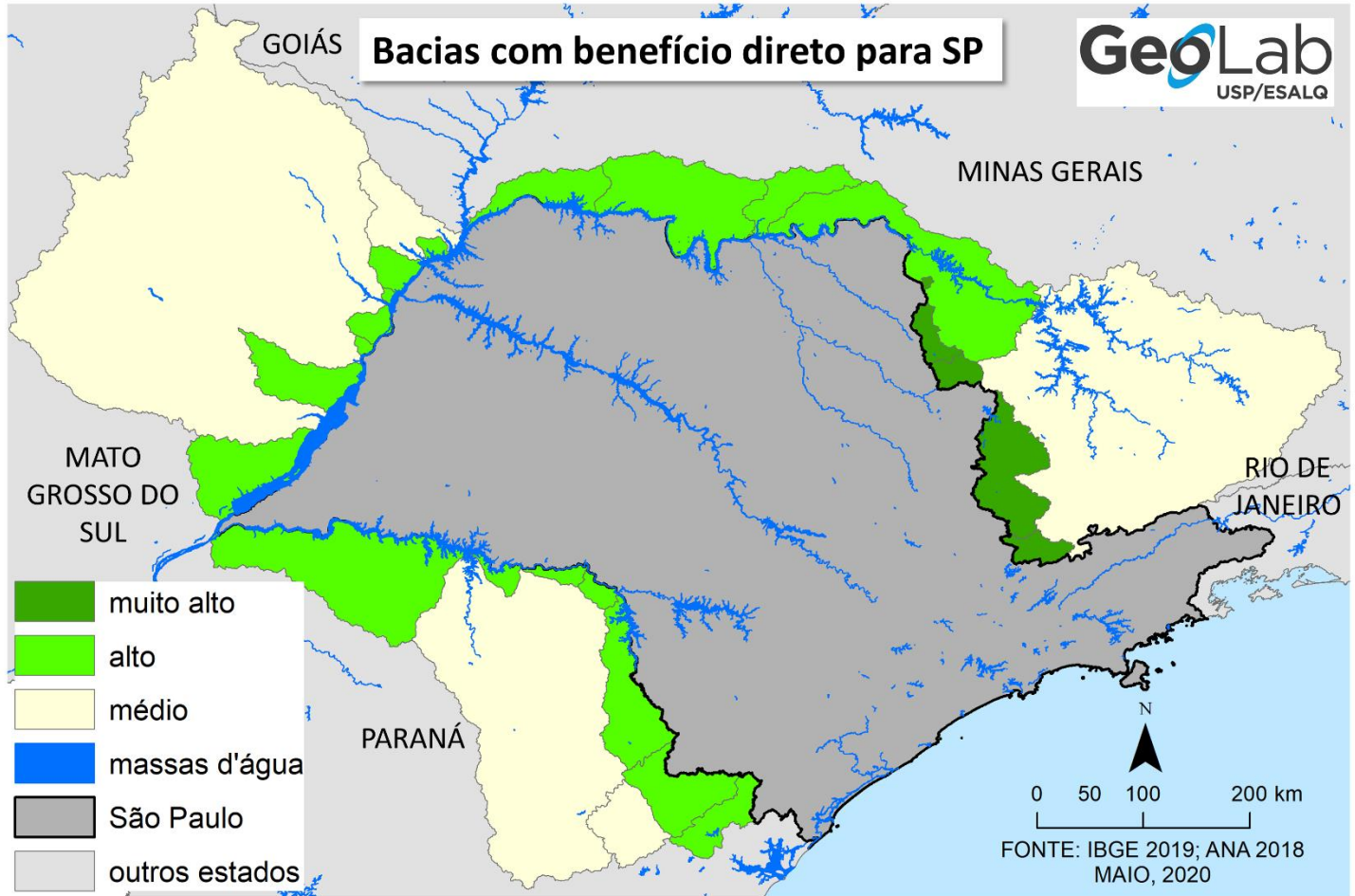


Figura 2: Escalas para a modelagem de áreas disponíveis para compensação de RL fora do estado de SP. (1) benefício muito alto: bacias hidrográficas nível 4 que se estendem a outros Estados e que desaguam dentro do Estado de SP; (2) benefício muito alto e alto: bacias hidrográficas nível 4 que se estendem a outros Estados e que desaguam dentro de SP e nos rios de divisa; (3) benefício muito alto, alto e médio: bacias hidrográficas nível 3 que se estendem a outros Estados e que desaguam dentro de SP e nos rios de divisa.

Efeito do critério de “Identidade Ecológica” aplicada à CRA

A modelagem de compensação de RL considerando “Identidade Ecológica”, ou seja, compensação em áreas ecologicamente equivalentes, mostra que, mesmo aplicando esse critério ecológico para CRA, o Cerrado pode ser subdividido em até 3 áreas similares mantendo a oferta de ativos maior que os déficits totais. Com a inclusão de restauração de RL em pastagem de baixa aptidão na própria propriedade, tanto o Cerrado quanto a Mata Atlântica podem ser subdivididos em até 8 áreas similares (Anexo I). Se consideramos a compensação em UC na Mata Atlântica, o grau de equivalência ecológica pode ser ainda maior, chegando até a 20 subdivisões do Bioma.

Detalhamento da Metodologia

Cálculo de Déficit e Ativos estimados

O cálculo de déficits e ativos foi feito com base no trabalho desenvolvido pelo Projeto Temático do Código Florestal – FAPESP (Tavares et al., 2019).

Os imóveis rurais foram extraídos do modelo de malha fundiária que realizou o tratamento das geometrias e das sobreposições entre propriedades autodeclaradas do Cadastro Ambiental Rural (CAR), com outras bases de propriedades privadas, públicas e áreas de não processamento, fundamentadas em 18 bases diferentes de ocupação da terra para compor um modelo de malha fundiária à nível nacional em formato *raster* e escala mais detalhada para o nível estadual em formato *shapefile* (Freitas et al., 2018a; Freitas et al., 2018b; Sparovek et al., 2019).

O cômputo do Código Florestal foi realizado com codificação em sistema de gerenciamento de banco de dados objeto-relacional conhecido como PostgreSQL versão 9.6.1.1, com a extensão PostGIS 2.0 para realizar operações espaciais no banco de dados. A lógica executada foi a mesma de modelos publicados por estudos anteriores (Freitas et al., 2016, 2017, 2018; Sparovek et al., 2015, 2012; Tavares et al., 2019). Integrando os imóveis modelados, com o uso do solo, provenientes da Fundação Brasileira de Desenvolvimento Sustentável (FBDS), combinado a outras informações de uso do solo, foi produzido um mapa de resolução de 5m.

Foi calculada a quantidade de vegetação nativa existente dentro e fora das faixas limites de Áreas de Preservação Permanente (APP) ripária por propriedade, estimando os déficits de APP e RL, à luz dos artigos nº 12, 15, 61-A, 67 e 68 do Código Florestal (Lei Federal 12.651/2012).

Também foram estimados os ativos de vegetação nativa, que compõe três categorias: (1) vegetação nativa em RL de propriedades pequenas (até 4 módulos fiscais); excedente de vegetação nativa nas propriedades; e propriedades privadas a serem regularizadas dentro de UC-PI. A vegetação em RL de propriedades pequenas e os excedentes foram extraídos do modelo descrito anteriormente. Os dados sobre a área pendente de regularização dentro de UC-PI foram fornecidos pela Fundação Florestal, que possui o valor da área privada dentro de cada UC.

Ambos os dados sobre déficits e ativos foram extraídos por bioma utilizando os contornos definidos pela Resolução SMA Nº 146/2017.

Identidade ecológica

Para a modelagem de compensação de RL com aplicação de “identidade ecológica” consideramos como termo similar “equivalência ecológica”, comumente utilizado para compensação de vegetação nativa no mundo todo (Bull et al., 2013; Maron et al., 2012; Miller et al., 2014; Quétier and Lavorel, 2011). Equivalência ecológica é entendida como: os tipos de valores de biodiversidade perdidos e ganhos são semelhantes em natureza e magnitude (Maron et al., 2012). Essa modelagem foi desenvolvida pelo Projeto Temático do Código Florestal – FAPESP e sua descrição completa é encontrada em Mello et al. (sob segunda revisão no periódico Land Use Policy - Anexo).

Foi desenvolvida uma ferramenta dinâmica que pode ser utilizada por gestores e demais interessados para simular a subdivisão dos biomas em áreas ecologicamente equivalentes (Mello et al. em revisão). A ferramenta apresenta como resultado um gráfico que compara o ganho em equivalência ecológica em relação à disponibilidade de áreas (ativos) para compensação com o aumento do grau de similaridade exigida (aumento do número de subdivisões do bioma). A ferramenta também apresenta um mapa que mostra onde a oferta de ativos é maior ou menor que a demanda (déficit), gerando o balanço entre equivalência ecológica e a oferta de ativos como subsídio para a tomada de decisão sobre o grau de equivalência ecológica a ser exigido para fins de compensação de RL. A ferramenta está disponível on-line no endereço https://compensacao.shinyapps.io/rl_sp_en/.

A equivalência ecológica foi calculada para bacias hidrográficas (ottobacias nível 5 – Agência Nacional de Águas – ANA) em duas etapas: a primeira utilizando variáveis abióticas e a segunda utilizando dados bióticos. Para equivalência abiótica, foram utilizadas 14 variáveis de solos, relevo e clima, e calculou-se a similaridade entre as bacias com base na distância euclidiana. Para o cálculo da equivalência biótica foram utilizados mapas de distribuição potencial de 1.840 espécies ameaçadas e/ou endêmicas de fauna e flora de ambos os biomas (Mata Atlântica e Cerrado) (Sánchez-Tapia et al., 2018) e o índice de similaridade de *Jaccard* para o cálculo de equivalência. Um procedimento de agrupamento hierárquico com restrição espacial foi então aplicado para criar agrupamentos de bacias hidrográficas com um alto nível de equivalência e proximidade espacial.

Os valores de déficits e a oferta de ativos para compensação foi extraída da modelagem anteriormente descrita. Foram utilizados tanto excedentes quanto vegetação nativa em RL de pequenas propriedades. A ferramenta dinâmica calcula a razão entre déficits e ativos para diferentes graus de similaridade ecológica, considerando desde a extensão do Bioma até a subdivisão do mesmo em até 20 grupos de bacias similares. A ferramenta dinâmica também permite a inclusão de áreas para restauração em pastagem de baixa aptidão

agrícola e áreas para compensação em áreas de alto valor ecológico, chamada de “trading up”. Consideramos como *trading up* a compensação em UC-PI.

Compensação de Reserva Legal fora do Estado de São Paulo

Considerou-se o artigo 66. § 6º III e § 7º do Código Florestal (Lei Federal 12.651/2012) para definição das 3 escalas para a modelagem de áreas disponíveis para compensação de RL fora do estado de SP, em bacias hidrográficas de interesse do estado. A delimitação das bacias hidrográficas foi baseada nas Bacias Hidrográficas Ottocodificada da Agência Nacional de Águas (ANA, 2018). As escalas 1 e 2 consideraram ottobacias nível 4, e a escala 3 (mais abrangente), considerou ottobacias nível 3. Para a delimitação dos estados e biomas utilizou-se a base do IBGE (2019).

O cálculo de déficits e ativos foi feito com base nos dados atualizados (dados do CAR de 2019) de Freitas et al. (2017) para o Brasil. A metodologia da modelagem do cômputo do Código Florestal é a mesma descrita anteriormente para a modelagem do estado de São Paulo. Os dados da modelagem do Código Florestal foram cruzados com a base dos estados, biomas e das ottobacias, e foram extraídos os valores por bioma e estado para cada uma das 3 escalas de modelagem.

Referências bibliográficas

- Bull, J.W., Suttle, K.B., Gordon, A., Singh, N.J., Milner-Gulland, E.J., 2013. Biodiversity offsets in theory and practice. *Oryx* 47, 369–380. <https://doi.org/10.1017/S003060531200172X>
- 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.; Guidotti, V.; Sparovek, G.; Hamamura, C. Nota técnica: Malha fundiária do Brasil, v.1812. In: Atlas - A Geografia da Agropecuária Brasileira, 2018. Disponível em: www.imaflora.org/atlasagropecuario
- Freitas, F.L.M., Sparovek, G., Berndes, G., Persson, U.M., Englund, O., Barretto, A., Mörtberg, U., 2018. Potential increase of legal deforestation in Brazilian Amazon after Forest Act revision. *Nat. Sustain.* 1, 665–670. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0171-4>
- Freitas, F.L., Sparovek, G., Matsumoto, M., 2016. A adicionalidade do mecanismo de compensação de reserva legal da lei no 12.651/2012: uma análise da oferta e demanda de cotas de reserva ambiental, in: Silva, A., Marques, H., Sambuichi, R. (Eds.), *Mudanças No Código Florestal Brasileiro: Desafios Para a Implementação Da Nova Lei*. IPEA, Rio de Janeiro.
- Maron, M., Hobbs, R.J., Moilanen, A., Matthews, J.W., Christie, K., Gardner, T.A., Keith, D.A., Lindenmayer, D.B.,

- McAlpine, C.A., 2012. Faustian bargains? Restoration realities in the context of biodiversity offset policies. *Biol. Conserv.* 155, 141–148. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.06.003>
- Mello, K., Fendrich, A.N.; Matos, C.B.; Brites, A.D.; Tavares, P.A.; Rocha, G.C.; Matsumoto, M.; Rodrigues, R.R.; Joly, C.A.; Sparovek, G.; Metzger, J.P. Integrating ecological equivalence for native vegetation compensation: a methodological approach. *Land Use Policy*. Under second review.
- Miller, K.L., Trezise, J.A., Kraus, S., Dripps, K., Evans, M.C., Gibbons, P., Possingham, H.P., Maron, M., 2014. The development of the Australian environmental offsets policy: From theory to practice. *Environ. Conserv.* 42, 306–314. <https://doi.org/10.1017/S037689291400040X>
- Quétier, F., Lavorel, S., 2011. Assessing ecological equivalence in biodiversity offset schemes: Key issues and solutions. *Biol. Conserv.* 144, 2991–2999. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.09.002>
- Sánchez-Tapia, A., de Siqueira, M.F., Lima, R.O., Barros, F.S.M., Gall, G.M., Gadelha, L.M.R., da Silva, L.A.E., Osthoff, C., 2018. Model-R: A framework for scalable and reproducible ecological niche modeling. *Commun. Comput. Inf. Sci.* 796, 218–232. https://doi.org/10.1007/978-3-319-73353-1_15
- Sparovek, G., Barretto, A.G.D.O.P., Matsumoto, M., Berndes, G., 2015. Effects of Governance on Availability of Land for Agriculture and Conservation in Brazil. *Environ. Sci. Technol.* 49, 10285–10293. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b01300>
- 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., 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>
- Tavares, P.A., Brites, A.D., Sparovek, G., Guidotti, V., Cerignoni, F., Aguiar, D., Metzger, J.P., Rodrigues, R.R., Pinto, L.F.G., de Mello, K., Molin, P.G., 2019. Unfolding additional massive cutback effects of the native vegetation protection law on legal reserves, Brazil, Revelando reduções adicionais de reserva legal da lei de proteção da vegetação nativa, Brasil. *Biota Neotrop.* <https://doi.org/10.1590/1676-0611-bn-2018-0658>

ANEXO I

Nota técnica: Restauração de Reserva Legal sem conversão de áreas agrícolas produtivas

Kaline de Mello, Arthur Nicolaus Fendrich, Paulo André Tavares e Gerd Sparovek

Resumo: A restauração florestal em áreas de baixa produtividade agrícola é uma estratégia muito importante para regularização de Reservas Legais (RL), uma vez que pode representar a estratégia de melhor custo-benefício, com baixo custo de recuperação da vegetação e grau máximo de equivalência ecológica com o déficit, quando realizada na mesma propriedade. Neste sentido, foram estimados os valores de pastagem de baixa aptidão agrícola presentes nas propriedades com déficit de RL no Estado de São Paulo, onde potencialmente poderia ser feita a restauração da RL. O total de áreas do Estado de São Paulo em propriedades onde o déficit de RL pode ser restaurado na própria propriedade em pastagem de baixa aptidão agrícola é de **20.248 ha no Cerrado e 96.796 ha na Mata Atlântica, que representa cerca de 35% do déficit em cada bioma.**

Contexto

O Estado de São Paulo possui um déficit de Reservas Legais (RL) de 327.888 ha, sendo 58.157 ha no bioma Cerrado e 269.730 ha na Mata Atlântica. Esse déficit pode ser restaurado na própria propriedade ou compensado em outras propriedades rurais. A vantagem da restauração na própria propriedade é o grau máximo de equivalência ecológica, onde a área de vegetação perdida no passado é recuperada na mesma área, garantindo a recuperação de biodiversidade e serviços ecossistêmicos no mesmo local onde foram perdidos ou afetados (Maron et al., 2012). Outra vantagem é o custo zero de transação, onde não são necessários contratos como servidão ambiental ou compra de créditos como Cota de Reserva Ambiental – CRA. Entretanto, o custo de um projeto de restauração ecológica pode não ser atrativo para o produtor rural. Além disso, há a preocupação sobre a conversão de áreas produtivas, afetando fatores econômicos.

Neste sentido, a restauração de áreas de baixa aptidão agrícola pode ser uma alternativa para essa questão, proporcionando áreas para restauração de RL sem comprometer áreas produtivas. As pastagens de baixa aptidão agrícola em especial representam áreas potenciais para a restauração de RL, uma vez que geram baixo retorno econômico aos proprietários de terras e, portanto, representam áreas que terão o menor impacto econômico se convertidas em florestas por meio de restauração (Strassburg et al., 2014). Além disso, a atual Lei de Proteção da Vegetação Nativa (Novo Código Florestal) permite a restauração de RL com espécies exóticas

economicamente interessantes combinadas com espécies nativas, garantindo um retorno econômico para o produtor, que pode ser ainda maior do que o atual retorno com uma pastagem de baixa produtividade (Metzger et al., 2019). Além disso, a restauração planejada em áreas de alto potencial de regeneração pode minimizar os custos e aumentar os benefícios ambientais da recomposição da vegetação (Strassburg et al., 2019).

Objetivo

Estimar os valores de pastagem de baixa aptidão agrícola em propriedades com déficits de RL nos biomas Cerrado e Mata Atlântica no Estado de São Paulo.

Metodologia

Os imóveis rurais foram extraídos do modelo de malha fundiária que realizou o tratamento das geometrias e das sobreposições entre propriedades autodeclaradas do Cadastro Ambiental Rural (CAR), com outras bases de propriedades privadas, públicas e áreas de não processamento, fundamentadas em 18 bases diferentes de ocupação da terra para compor um modelo de malha fundiária à nível nacional em formato shapefile (Freitas et al., 2018a; Freitas et al., 2018b; Sparovek et al., 2019).

O cômputo do Código Florestal foi realizado com codificação em sistema de gerenciamento de banco de dados objeto-relacional conhecido como PostgreSQL versão 9.6.1.1, com a extensão PostGIS 2.0 para realizar operações espaciais no banco de dados. A lógica executada foi a mesma de modelos publicados por estudos anteriores (Freitas et al., 2016, 2017, 2018; Sparovek et al., 2015, 2012; Tavares et al., 2019). Integrando os imóveis modelados, com o uso do solo, provenientes da Fundação Brasileira de Desenvolvimento Sustentável (FBDS), combinado a outras informações de uso do solo, foi produzido um mapa de resolução de 5m.

Foi calculada a quantidade de vegetação nativa existente dentro e fora das faixas limites de Áreas de Preservação Permanente (APP) ripária por propriedade, estimando os déficits de RL à luz dos artigos nº 12, 15, 61-A, 67 e 68 do Código Florestal (Lei Federal 12.651/2012).

As propriedades que apresentaram déficits foram selecionadas para averiguação da existência de pastagens de baixa aptidão agrícola potenciais para restauração de RL.

As pastagens de baixa aptidão agrícola foram extraídas com o cruzamento de um mapa de aptidão agrícola para o estado de São Paulo e o mapa de uso e cobertura do solo. O mapa de aptidão agrícola considera

variáveis de qualidade do solo (profundidade do solo, drenagem do solo, teor de argila e fertilidade do solo), declividade e clima (capacidade de água disponível, índice de água e temperatura, que avalia o déficit hídrico no campo) (Sparovek et al., 2015).

Resultados

O total de áreas do Estado de São Paulo em propriedades onde o déficit de RL pode ser restaurado na própria propriedade em pastagem de baixa aptidão agrícola é de 20.248 ha no Cerrado e 96.796 ha na Mata Atlântica, totalizando 117.044 ha. Comparando-se com o déficit total para cada bioma, observamos que essas áreas representam, respectivamente, 35% do déficit no Cerrado e 36% na Mata Atlântica.

Tabela 1: Valores de déficits de Reserva Legal e de pastagens de baixa aptidão agrícola nas propriedades com déficits para o Estado de São Paulo.

Bioma	Déficit (ha)	Pastagem baixa aptidão agrícola dentro de propriedades com déficit (ha)
Cerrado	58.157	20.248
Mata Atlântica	269.730	96.796

A restauração desses déficits representaria uma diminuição na demanda por áreas para compensação de RL no estado, aumentando ainda mais a oferta de ativos. Essa estratégia pode representar um alto-custo benefício - a maior equivalência ecológica com custo relativamente baixo (Molin et al., 2018).

Referências Bibliográficas

- 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.; Guidotti, V.; Sparovek, G.; Hamamura, C. Nota técnica: Malha fundiária do Brasil, v.1812. In: *Atlas - A Geografia da Agropecuária Brasileira*, 2018. Disponível em: www.imaflora.org/atlasagropecuario
- Freitas, F.L.M., Sparovek, G., Berndes, G., Persson, U.M., Englund, O., Barretto, A., Mörtberg, U., 2018. Potential increase of legal deforestation in Brazilian Amazon after Forest Act revision. *Nat. Sustain.* 1, 665–670. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0171-4>

- Freitas, F.L., Sparovek, G., Matsumoto, M., 2016. A adicionalidade do mecanismo de compensação de reserva legal da lei no 12.651/2012: uma análise da oferta e demanda de cotas de reserva ambiental, in: Silva, A., Marques, H., Sambuichi, R. (Eds.), *Mudanças No Código Florestal Brasileiro: Desafios Para a Implementação Da Nova Lei*. IPEA, Rio de Janeiro.
- Maron, M., Hobbs, R.J., Moilanen, A., Matthews, J.W., Christie, K., Gardner, T.A., Keith, D.A., Lindenmayer, D.B., McAlpine, C.A., 2012. Faustian bargains? Restoration realities in the context of biodiversity offset policies. *Biol. Conserv.* 155, 141–148. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.06.003>
- Metzger, J.P., Bustamante, M.M.C., Ferreira, J., Fernandes, G.W., Librán-Embid, 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.* <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2019.07.002>
- Molin, P.G., Chazdon, R., Frosini de Barros Ferraz, S., Brancalion, P.H.S., 2018. A landscape approach for cost-effective large-scale forest restoration. *J. Appl. Ecol.* 55, 2767–2778. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13263>
- Sparovek, G., Barretto, A.G.D.O.P., Matsumoto, M., Berndes, G., 2015. Effects of Governance on Availability of Land for Agriculture and Conservation in Brazil. *Environ. Sci. Technol.* 49, 10285–10293. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b01300>
- 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., 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>
- Strassburg, B.B.N., Latawiec, A.E., Barioni, L.G., Nobre, C.A., da Silva, V.P., Valentim, J.F., Vianna, M., Assad, E.D., 2014. When enough should be enough: Improving the use of current agricultural lands could meet production demands and spare natural habitats in Brazil. *Glob. Environ. Chang.* 28, 84–97. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.06.001>
- Tavares, P.A., Brites, A.D., Sparovek, G., Guidotti, V., Cerignoni, F., Aguiar, D., Metzger, J.P., Rodrigues, R.R., Pinto, L.F.G., de Mello, K., Molin, P.G., 2019. Unfolding additional massive cutback effects of the native vegetation protection law on legal reserves, Brazil, Revelando reduções adicionais de reserva legal da lei de proteção da vegetação nativa, Brasil. *Biota Neotrop.* <https://doi.org/10.1590/1676-0611-bn-2018-0658>

ANEXO II
Áreas disponíveis para compensação em bacias hidrográficas de interesse do Estado de São Paulo
Tabela 1: Déficits e ativos de Reserva Legal das bacias otto4 do Estado de São Paulo que se estendem a outros estados e que desaguam dentro de São Paulo.

Estado	Bioma	Déficit de Reserva Legal (ha)	Excedente de VN (ha)	CRA imóveis pequenos (ha)	CRA imóveis pequenos com Excedente (ha)	Ativos - Déficits
Minas Gerais	Cerrado	572	9,957	12,529	22,486	21,914
Minas Gerais	Mata Atlântica	1,572	39,923	26,011	65,934	64,362

Tabela 2: Déficits e ativos de Reserva Legal das bacias otto4 do Estado de São Paulo que se estendem a outros estados e que desaguam dentro de São Paulo ou nos rios de divisa.

Estado	Bioma	Déficit de Reserva Legal (ha)	Excedente de VN (ha)	CRA imóveis pequenos (ha)	CRA imóveis pequenos com Excedente (ha)	Ativos - Déficits
Minas Gerais	Cerrado	63,055	78,212	96,517	174,729	111,674
Minas Gerais	Mata Atlântica	17,196	57,561	34,909	92,470	75,274
Paraná	Cerrado	503	2,317	10,861	13,179	12,675
Paraná	Mata Atlântica	85,242	46,087	179,666	225,753	140,512
Mato Grosso do Sul	Cerrado	35,802	14,885	26,285	41,170	5,368
Mato Grosso do Sul	Mata Atlântica	12,980	3,326	10,261	13,587	607
Total	Cerrado	99,360	95,414	133,664	229,078	129,718
Total	Mata Atlântica	115,417	106,974	224,836	331,810	216,393

Tabela 3: Déficits e ativos de Reserva Legal das bacias do Estado de São Paulo que se estendem a outros estados e que desaguam dentro de São Paulo ou nos rios de divisa.

Estado	Bioma	Déficit de Reserva Legal (ha)	Excedente de VN (ha)	CRA imóveis pequenos (ha)	CRA imóveis pequenos com Excedente (ha)	Ativos - Déficits
Minas Gerais	Cerrado	63,540	104,897	135,625	240,521	176,981
Minas Gerais	Mata Atlântica	31,883	283,262	191,352	474,614	442,731
Rio de Janeiro	Mata Atlântica	0	0	751	751	751
Paraná	Cerrado	2,877	4,247	25,848	30,094	27,217
Paraná	Mata Atlântica	120,489	143,550	365,534	509,084	388,595
Mato Grosso do Sul	Cerrado	277,423	59,022	404,168	463,190	185,768
Mato Grosso do Sul	Mata Atlântica	14,769	3,751	11,683	15,434	665
Goiás	Cerrado	1,710	8	2,448	2,456	747
Total	Cerrado	345,549	168,174	568,088	736,262	390,713
Total	Mata Atlântica	167,141	430,563	569,320	999,884	832,743