



2022

Déficit de
vegetação
nativa
na Bacia do Rio
São Francisco

Elaborado por André Felipe Alves de Andrade
Dr. em Ecologia e Evolução – UFG



Sumário

1. Contexto	2
2. Objetivos/Produtos	2
a. Mapa do Déficit.....	2
b. Perfil do Déficit	2
c. Oportunidades de Cotas de Reserva Ambiental (CRA)	2
3. Métodos.....	2
a. Mapa do Déficit.....	2
b. Perfil do Déficit	3
c. Oportunidades de Cotas de Reserva Ambiental (CRA)	4
4. Resultados	4
a. Mapa do Déficit.....	4
b. Perfil do Déficit	12
c. Oportunidade de Cotas de Reserva Ambiental (CRA)	18
5. Conclusão e Ressalvas	21
6. Referências	22

1. Contexto

A Bacia do Rio São Francisco possui aproximadamente 63.516.740 hectares, sendo considerados para esta análise 44.129.628,41 de hectares ocupados por imóveis registrados no CAR. Estes 44.129.628,41 hectares estão divididos em 871.746 imóveis, presentes em 609 municípios e 11 unidades federativas, com suas respectivas participações em área proporcional: Minas Gerais (42,67%), Bahia (42,44%), Pernambuco (10,54%), Alagoas (2,14%), Sergipe (1,16%), Goiás (0,63%), Distrito Federal (0,33%), Piauí (0,06%), Tocantins (0,02%), Paraíba (0,01%) e Ceará (0,01%). Em relação aos biomas aos quais pertencem as propriedades analisadas, a maioria se encontra no bioma Cerrado (64,85% de área), com um percentual significativo na Caatinga (31,76 %) e um pequeno trecho de Mata Atlântica (3,38 %). Em relação aos imóveis, 837.102 são considerados pequenos, 26.217 médios e 8.427 grandes, de acordo com a classificação do INCRA com base em módulos fiscais, e ocupam, respectivamente, 42,45 %, 21,40% e 36,14% da área total.

2. Objetivos/Produtos

a. Mapa do Déficit

- i. A fim de mapear o déficit de vegetação nativa na bacia do São Francisco, foram produzidos mapas a nível de Unidades Federativas (UF) e Municípios com a quantificação absoluta e relativa (proporcional à área ocupada pela unidade amostral) do déficit de Área de Preservação Permanente (APP) e Reserva Legal (RL).

b. Perfil do Déficit

- i. Compreender o perfil do déficit de APP e RL e a sua distribuição na bacia de acordo com o tamanho das propriedades e sua distribuição dentro dos diferentes biomas e unidades federativas.

c. Oportunidades de Cotas de Reserva Ambiental (CRA)

- i. Mapear as oportunidades de oferecimento de Cotas de Reserva Ambiental (CRA) na bacia do Rio São Francisco, de acordo com os Artigos 13, 44 e 66 da Lei nº 12.651/2012 (Lei de utilização e proteção da vegetação nativa) como forma de compensar os déficits de Reserva Legal (RL).

3. Métodos

a. Mapa do Déficit

Os mapas do déficit são baseados nos dados gerados pelo ImaFlora em relação à quantificação dos passivos em imóveis do CAR situados na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco em relatório produzido no mês de julho de 2022 e utiliza uma atualização das modelagens utilizadas em Sparovek et al. (2012; 2015), Freitas; Sparovek; Matsumoto (2016), Guidotti et al. (2017) e Tavares et al. (2019).

Os mapas foram produzidos utilizando os *shapefiles* de Unidades Federativas e Malha Municipal disponibilizados pelo IBGE e acessados em 10 de julho de 2022. (<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=acesso-ao-produto>) e *shapefile* da Bacia do São Francisco disponibilizada pela Agência Nacional de Águas (ANA), também acessado em 10 de julho de 2022 (<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/663c3ccc-ab45-459b-8c1b-6852bd389a26>).

Como dados de entrada, provenientes das análises do ImaFlora, para os mapas foram utilizados dados, a nível de propriedade registrada no CAR, de déficit de APP e déficit de RL em hectares, além da área ocupada pela propriedade. Estes dados foram somados e resumidos a nível de município e unidade federativa. Os mapas foram produzidos utilizando os valores absolutos de déficit, em hectares, e também os valores relativos, levando em conta a área ocupada por aquela unidade federativa/município. O valor relativo do déficit leva em conta a grande disparidade de área ocupada pelos diferentes entes e evidencia aqueles que possuem valores relevantes de déficit que seriam outrora mascarados ao se considerar apenas o valor absoluto.

b. Perfil do Déficit

Com o objetivo de compreender as nuances do déficit de vegetação nativa na bacia, e compreender como este déficit está distribuído em relação ao tamanho da propriedade, ajustamos modelos de regressão linear correlacionando o tamanho da propriedade (em logaritmo de módulos fiscais) com os valores proporcionais (em relação à área exigida de APP/RL após considerar os descontos de acordo com os artigos 13, 15, 61-A, 61-B e 67 da Lei 12.651/2012) de déficit de Área de Preservação Permanente (APP), déficit de Reserva Legal (RL).

Dada a distribuição dos dados foram ajustados modelos aditivos mistos de acordo com a distribuição beta com um alto número de zeros e uns (*zero-one-inflated models*; função *gamlss* família BEINF). Assumimos como efeitos fixos o tamanho de módulos fiscais e como efeitos aleatórios os diferentes biomas aninhados nos diferentes estados. Isto foi feito para avaliar o efeito do tamanho das propriedades sobre os déficits desconsiderando as diferenças que possam existir nos diferentes biomas e unidades federativas. A formulação matemática do modelo foi construída da seguinte forma (Eq.1):

Déficit (APP/RL) ~ Módulos Fiscais + (~ 1 |Bioma/UF),

$$\sigma_{\text{FORMULA}} = \sim \text{Módulos Fiscais} + (\sim 1|\text{Bioma/UF}),$$

$$v_{\text{FORMULA}} = \sim \text{Módulos Fiscais} + (\sim 1|\text{Bioma/UF}),$$

$$\tau_{\text{FORMULA}} = \sim \text{Módulos Fiscais} + (\sim 1|\text{Bioma/UF}) \quad (\text{Eq.1})$$

O modelo matemático foi escrito desta forma para avaliar tanto o efeito médio dos módulos fiscais nos diferentes biomas e unidades federativas quanto a diferença na variação (σ) e na probabilidade de encontrar propriedades com ausência de déficit (v) ou com déficit total (τ).

Os modelos foram ajustados e avaliados utilizando os pacotes *gamlss* (Brooks et al., 2017) e *ggeffects* (Lüdtke, 2018) no software R (2022).

c. Oportunidades de Cotas de Reserva Ambiental (CRA)

As oportunidades de oferecimento de Cotas de Reserva Ambiental (CRA) são um mecanismo previsto nos artigos 13, 44 e 61 da Lei 12.651/2012 que instituem formas de compensar o déficit de Reserva Legal de uma propriedade ao adquirir o excedente existente em uma outra propriedade. A aquisição desta compensação segue algumas regras e, em geral, deve ser executada dentro da mesma unidade federativa e no mesmo bioma. Levando estes pontos em conta, calculamos a oportunidade de oferecimento de CRA para cada bioma inserido nas diferentes unidades federativas. Apesar do CRA ser um recurso voltado para o produtor, que visa compensar os déficits na propriedade, a visualização deste dado a nível de bioma e também a nível de município permite avaliar a viabilidade desta estratégia de compensação para os diferentes componentes da bacia e fornecer informações para estabelecer a oferta de CRA como uma estratégia válida e suficiente para uma determinada combinação de bioma e unidade federativa.

Para esta análise foram utilizados os mesmos *shapefiles* de unidades federativas e municípios do IBGE, além de um *shapefile* dos biomas brasileiros, também disponibilizado pelo IBGE e acessado em 15 de julho de 2022 (<https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/informacoes-ambientais/15842-biomas.html?=&t=acesso-ao-produto>).

Como dados de entrada, provenientes das análises do ImaFlora, para os mapas foram utilizados dados, a nível de propriedade registrada no CAR, de déficit de RL e oferta de CRA fora de RL, em hectares. Estes dados foram somados e resumidos a nível de município e considerando a divisão das unidades federativas em seus diferentes biomas. Calculamos o “Saldo de Oferta de CRA”, em hectares, considerando a diferença entre o déficit de RL e a possibilidade de oferta de CRA, como métrica de interesse para produção e espacialização dos resultados.

4. Resultados

a. Mapa do Déficit

i. Unidades Federativas

O déficit total de Reserva Legal (RL) na Bacia do São Francisco foi de 3.027.787 ha, sendo distribuído entre 23.313 imóveis, sendo 89,71% destes ocorrendo nos estados de Minas Gerais e Bahia. A Unidade Federativa (UF) que apresenta maior déficit de RL é o estado da Bahia (1.798.935 ha), seguido do estado de Minas Gerais (1.049.679 ha) e o estado de Pernambuco (78.667 ha). Estes números estão diretamente relacionados com a área que estes três estados ocupam da bacia, já que os três estados são os que abrigam quase que a totalidade da bacia, com 95% de toda a área incluída neste estudo. Ao ponderarmos o déficit pela área ocupada por cada estado,

os maiores déficits relativos são do Tocantins (25,7%), Goiás (12,6%) e Distrito Federal (10,8%). Tocantins é o estado com menor número de imóveis no estudo (28), sendo que 10 deles apresentam déficit de APP. Distrito Federal e Goiás também apresentam poucos imóveis, porém seu déficit excede o de outros estados com menor área relativa. Um estado de destaque é o estado da Bahia, que apresenta o maior déficit absoluto e o 4º maior proporcional, com 9,6% de área deficitária (Tabela 1, Figura 1).

O déficit total de Área de Proteção Permanente (APP) na Bacia do São Francisco foi de 262.619 ha, distribuídos entre 407.664 imóveis, sendo 72,05% destes ocorrendo nos estados de Minas Gerais e Bahia. Este retrato difere do déficit encontrado para RL, pois apresenta um número maior de imóveis e um menor valor de déficit, o que representa a maior distribuição do déficit ao longo da bacia, ao contrário do déficit de RL que possui uma maior concentração em dois estados. Apesar disto, o déficit de APP segue um padrão semelhante, com os mesmo três estados apresentando o maior déficit - Minas Gerais (125.451 ha); Bahia (87.211 ha); Pernambuco (32.449 ha), ainda que em menor discrepância em relação ao restante. Em relação à área, Sergipe e Alagoas se sobressaem com altos déficits relativos, ambos com proporções acima de 1% da área ocupada (Tabela 1, Figura 2).

Tabela 1 – Resultados de déficit de APP, RL e excedente de vegetação nativa fora de RL (oferta de CRA) nas unidades federativas analisadas. Os dados são apresentados de acordo com o número de imóveis, a área absoluta (em hectares a) e a área proporcional à área ocupada pelos imóveis. (Modificada a partir da Tabela 3 – Relatório ImaFlora)

Estado	Número de imóveis analisados	Déficit de RL			Déficit de APP			Excedente de vegetação nativa		
		N. de imóveis	Área (ha)	Prop. à área ocupada (%)	N de imóveis	Área (ha)	Prop. à área ocupada (%)	N de imóveis	Área (ha)	Prop. à área ocupada (%)
AL	78.912	470	26.918	2,85	26.823	10.735	1,14	6.664	31.211	3,30
BA	323.169	8.160	1.798.935	9,6	135.996	87.211	0,46	66.917	1.433.401	7,65
CE	164	1	143	5,58	7	1	0,02	48	339	13,24
DF	1.309	471	15.815	10,8	530	335	0,22	177	254	0,17
GO	1.173	272	35.010	12,6	718	891	0,31	115	2.145	0,76
MG	267.029	12.666	1.049.679	5,57	157.736	125.451	0,66	64.660	963.917	5,11
PB	433	0	0	0	22	7	0,23	173	1.148	37,40
PE	178.300	956	78.667	1,69	77.497	32.449	0,69	62.738	668.708	14,38
PI	372	5	1.051	4,17	20	20	0,07	152	5.566	22,07
SE	20.857	202	19.597	3,82	8.293	5.518	1,07	2.232	18.889	3,68
TO	28	10	1.971	25,7	2	1	0,01	0	0	0
Total	871.746	23.213	3.027.787	-	407.644	262.619	-	203.876	3.125.578	-

AL = Alagoas; BA = Bahia; CE = Ceará; DF = Distrito Federal; GO = Goiás; MG = Minas Gerais; PB = Paraíba; PE = Pernambuco; PI = Piauí; SE = Sergipe; TO = Tocantins

ii. Municípios

O déficit proporcional à área, calculado para cada unidade federativa se baseia na soma dos déficits das propriedades, dividida pela área ocupada por estas propriedades, o que caracteriza um déficit médio para uma determinada unidade federativa. Portanto, algumas propriedades, e até mesmo municípios, apresentarão valores de déficit acima e abaixo da média para a sua unidade federativa. Apontamos aqui aqueles municípios que se destacam negativamente, ao apresentar valores de déficit maior do que a média para a unidade federativa, tanto para RL quanto APP.

Os três municípios que apresentam déficit proporcional de RL maior do que o valor médio para a sua Unidade Federativa se encontram na Tabela 2, enquanto os que apresentam déficit de APP acima da média estão na Tabela 3. A análise destes dados releva que os municípios com maiores valores de déficit de APP se encontram em Minas Gerais, mesmo este estado não possuindo o maior valor proporcional de déficit (Tabela 2). Os municípios se encontram na região do Alto São Francisco, em municípios que possuem nascentes de afluentes do rio (Figura 3). Os maiores valores, em sequência, se encontram nos estados da Bahia, Sergipe e Alagoas, estes dois últimos sendo as unidades federativas que apresentaram maior valor de déficit de APP proporcional à área.

O mesmo padrão pode ser avaliado para os déficits de RL (Tabela 3). Com as maiores proporções de déficit pertencendo ao estado do Tocantins, com valores de déficit que superam 1/3 da área do município, superando o já elevado déficit para a unidade federativa, de 25,7% de sua área. Nenhum outro estado alcançou valores proporcionais de déficit tão elevados, mas vale apontar que na Bahia, Goiás, Minas Gerais, Pernambuco e Tocantins possuem municípios que possuem déficits superiores à 15% de suas áreas. É notável a concentração de municípios com alto valor de déficit de RL no oeste baiano, na margem oeste do Rio São Francisco, além de em todo o Cerrado Mineiro. Observa-se ainda, no Baixo São Francisco, uma concentração maior de municípios com maiores valores de déficit próximos à foz do rio (Figura 4).

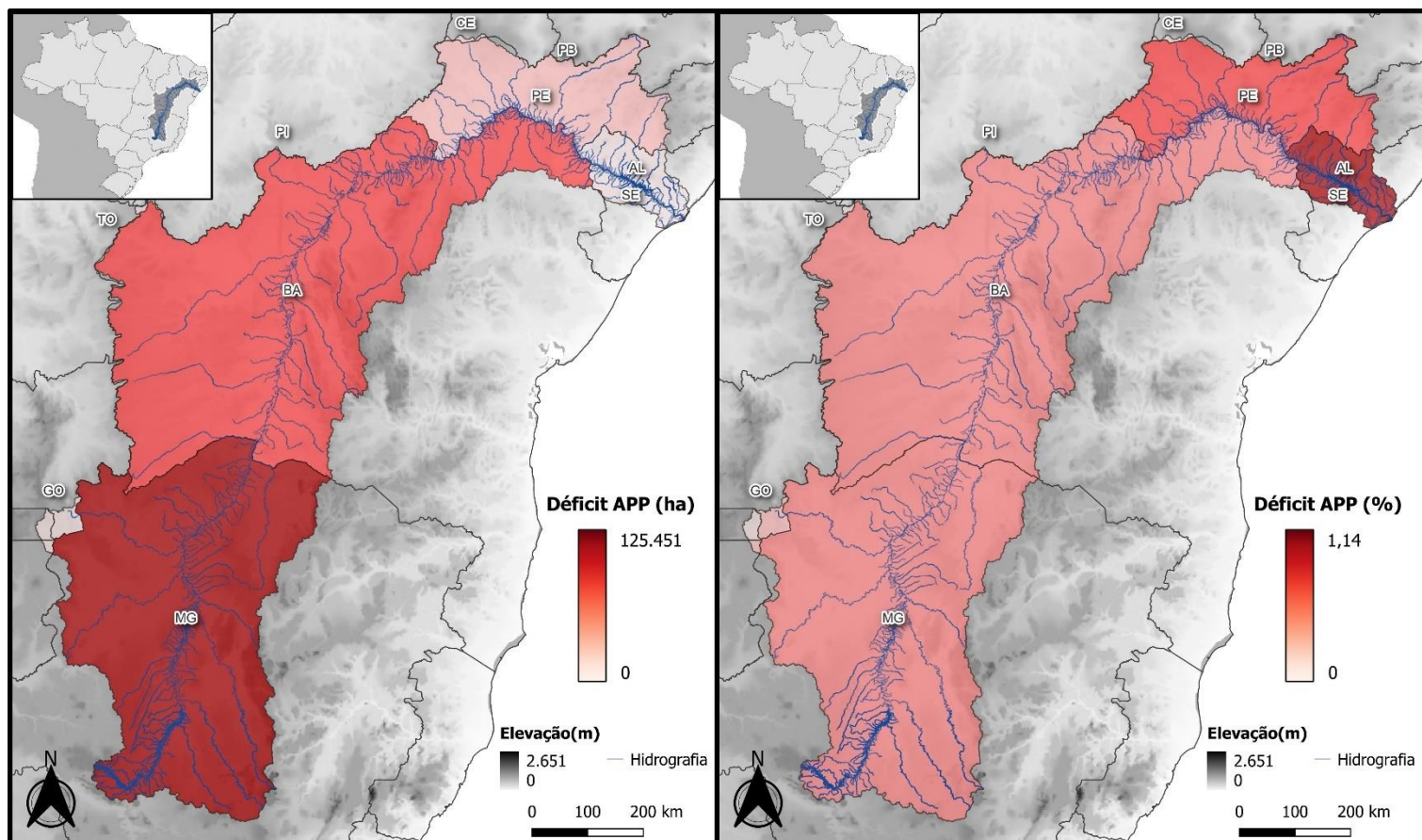


Figura 1: Déficit de APP em valores absolutos (esquerda) e proporcional à área (direita) nos estados que compõem a bacia do Rio São Francisco. Valores em tom de vermelho mais escuro representam um maior déficit.

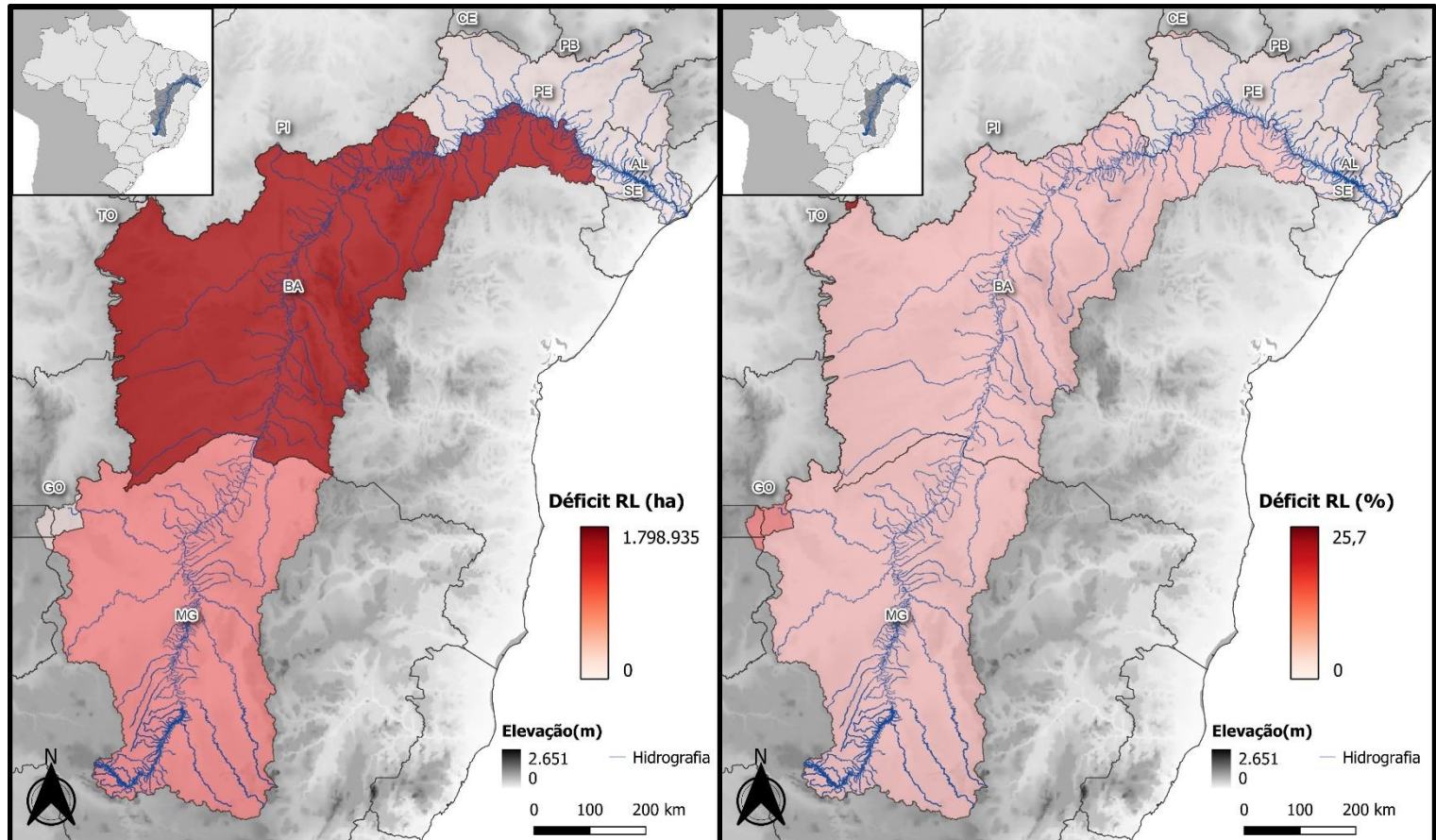


Figura 2: Déficit de RL em valores absolutos (esquerda) e proporcional à área (direita) nos estados que compõem a bacia do Rio São Francisco. Valores em tom de vermelho mais escuro representam um maior déficit.

Tabela 2: Municípios com maiores taxas de déficit de APP proporcional à área ocupada em cada unidade federativa.

Estado	Município	Área (ha)	Deficit APP (ha)	Média Estado (%)	Prop. à área ocupada (%)
AL	Palestina	4041,80	65,23	1,14	1,614
	Inhapi	22431,92	351,67		1,568
	Senador Rui Palmeira	25437,75	382,83		1,505
BA	Jussara	28287,92	485,25	0,46	1,715
	João Dourado	39202,92	659,39		1,682
	Irecê	13157,29	217,72		1,655
CE	Brejo Santo	100,72	0,28	0,02	0,275
	Jardim	183,85	0,16		0,087
	Jati	61,56	0,04		0,068
DF	Brasília	146184,47	334,68	0,22	0,229
GO	Alvorada do Norte	6681,78	37,35	0,31	0,559
	Flores de Goiás	13643,78	61,52		0,451
	Vila Boa	6060,66	25,95		0,428
MG	São Tiago	19,72	0,78	0,66	3,956
	Belo Horizonte	570,20	13,43		2,355
	Crucilândia	14355,02	334,10		2,327
PB	Prata	185,78	2,08	0,23	1,117
	São José dos Cordeiros	75,39	0,53		0,700
	Desterro	112,97	0,66		0,581
PE	Águas Belas	57578,08	680,49	0,69	1,182
	Ibimirim	189557,69	2205,50		1,163
	Iati	44464,47	512,33		1,152
PI	Bom Jesus	353,35	0,79	0,07	0,222
	Júlio Borges	3834,42	6,92		0,180
	Curral Novo do Piauí	158,17	0,25		0,156
SE	Canindé de São Francisco	54474,50	1031,13	1,07	1,893
	Nossa Senhora de Lourdes	5318,51	79,72		1,499
	Muribeca	1883,00	26,27		1,395
TO	Dianópolis	2004,90	0,72	0,01	0,036
	Mateiros	4373,84	0,12		0,003

AL = Alagoas; BA = Bahia; CE = Ceará; DF = Distrito Federal; GO = Goiás; MG = Minas Gerais; PB = Paraíba; PE = Pernambuco; PI = Piauí; SE = Sergipe; TO = Tocantins

Tabela 3: Municípios com maiores taxas de déficit de RL proporcional à área ocupada em cada unidade federativa.

Estado	Município	Área (ha)	Deficit RL (ha)	Média Estado (%)	Prop. á área ocupada (%)
AL	Girau do Ponciano	32741,99	2546,62	2,85	7,78
	Igreja Nova	33685,41	2351,31		6,98
	Junqueiro	6340,14	420,59		6,63
BA	Barreiras	614291,63	107039,74	9,60	17,42
	São Desidério	1363855,99	236754,54		17,36
	Jaborandi	874241,33	150581,38		17,22
CE	Araripe	1527,87	142,87	5,58	9,35
DF	Brasília	146184,47	15815,28	10,82	10,82
GO	Posse	8637,57	1691,83	12,60	19,59
	Mambai	23825,80	4271,85		17,93
	Guarani de Goiás	3272,58	531,92		16,25
MG	Itambé do Mato Dentro	594,80	97,46	5,57	16,38
	Grão Mogol	15446,54	2330,63		15,09
	Bonito de Minas	331031,22	44974,17		13,59
PB	-	-	-	0,00	0,00
PE	Petrolândia	62014,24	9601,04	1,69	15,48
	Tacaratu	78832,50	7794,12		9,89
	Itacuruba	16441,54	1491,37		9,07
PI	Barreiras do Piauí	994,07	198,81	4,17	20,00
	Corrente	5163,23	680,60		13,18
	Cristalândia do Piauí	2030,23	171,46		8,45
SE	Propriá	8647,35	1177,18	3,82	13,61
	Ilha das Flores	5717,89	776,24		13,58
	Aquidabã	34023,99	3688,14		10,84
TO	Aurora do Tocantins	771,99	269,77	25,7	34,94
	Dianópolis	2004,90	660,98		32,97
	Mateiros	4373,84	1040,17		23,78

AL = Alagoas; BA = Bahia; CE = Ceará; DF = Distrito Federal; GO = Goiás; MG = Minas Gerais; PB = Paraíba; PE = Pernambuco; PI = Piauí; SE = Sergipe; TO = Tocantins

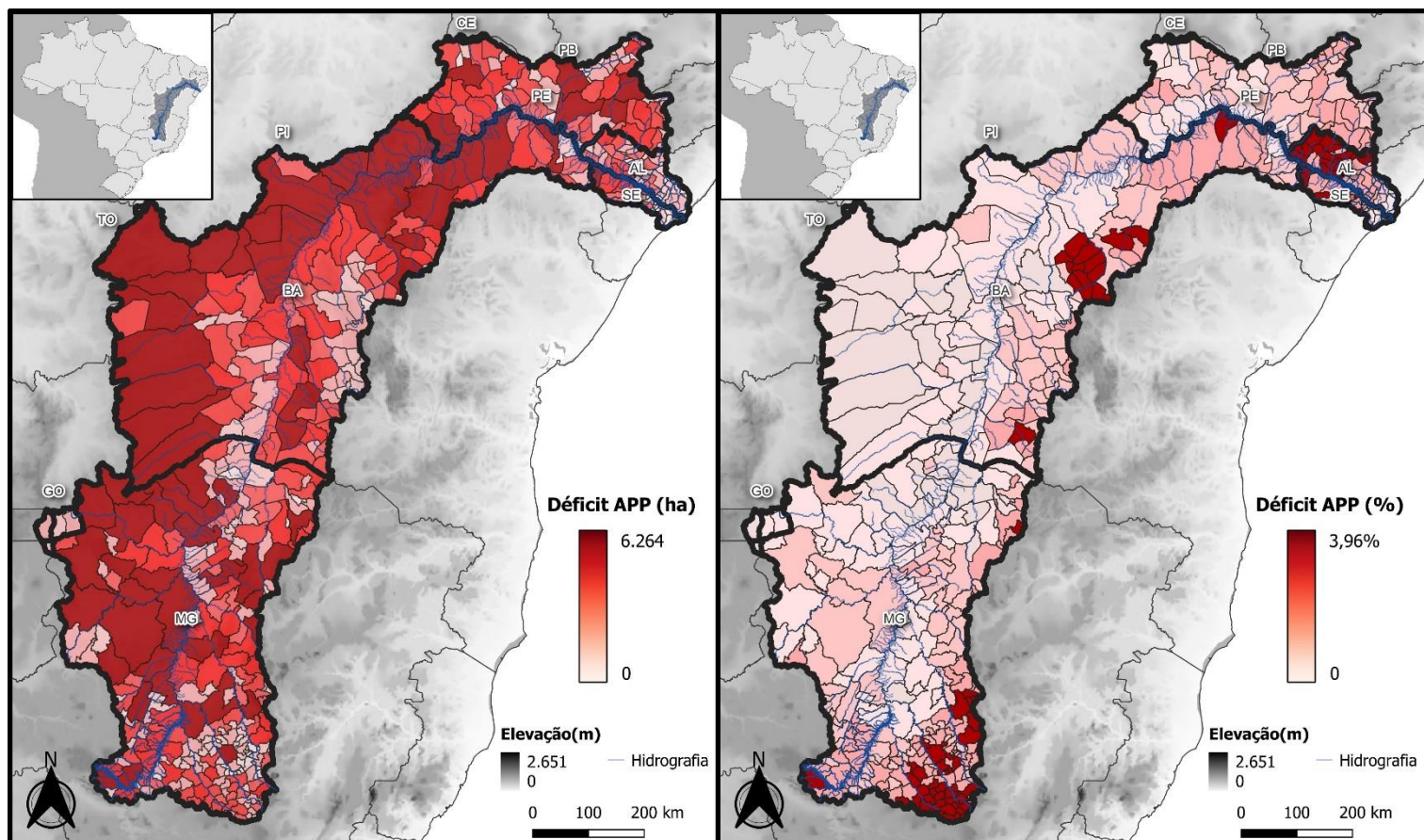


Figura 3: Déficit de APP em valores absolutos (esquerda) e proporcional à área (direita) nos municípios que compõem a bacia do Rio São Francisco. Valores em tom de vermelho mais escuro representam um maior déficit.

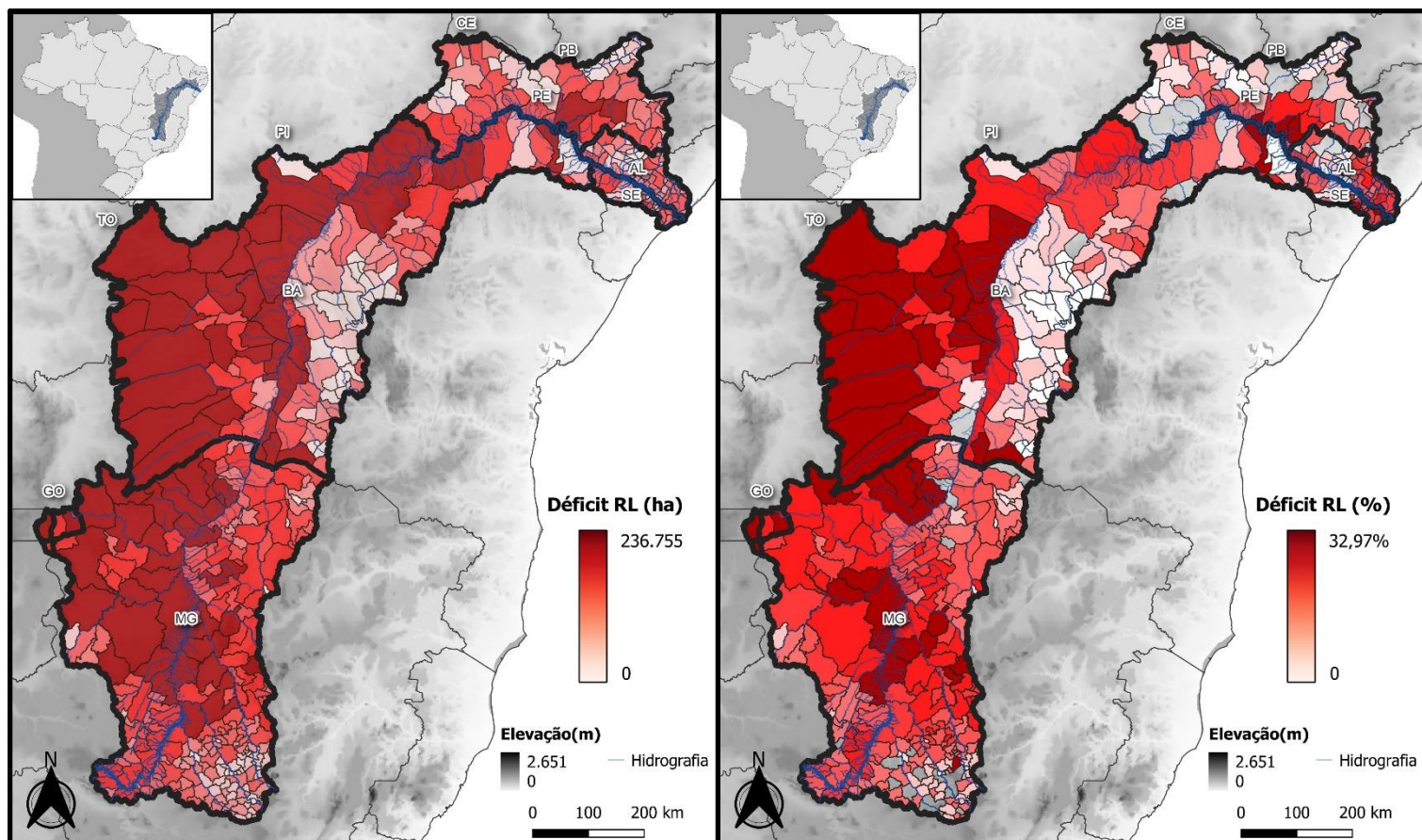


Figura 4: Déficit de RL em valores absolutos (esquerda) e proporcional à área (direita) nos municípios que compõem a bacia do Rio São Francisco. Valores em tom de vermelho mais escuro representam um maior déficit.

b. Perfil do Déficit

i. Áreas de Preservação Permanente (APP)

Em relação à Área de Preservação Permanente (APP), encontramos que quanto menor a propriedade, maior a chance de não haver déficit de APP ($Z_{871659,19,3} = -245.05$, $p < 0.001$; Tabela 4, Figura 5), da mesma forma também é maior a chance de haver um déficit total de APP (Tabela 4, Figura 5). Ao desconsiderar os extremos, novamente as propriedades menores possuem, proporcionalmente, um maior déficit de APP ($Z_{871659,19,3} = -282.7$, $p < 0.001$; Tabela 4, Figura 5). Este resultado, por mais controverso que possa parecer, é justificável pelo quesito proporcional da métrica. Em propriedades pequenas, quando há déficit, por menor que seja, este já ocupa uma parcela substancialmente maior daquela propriedade. Portanto, estas três dimensões da métrica representam o processo que ocorre na bacia. Propriedades pequenas possuem proporcionalmente um maior déficit de APP, no entanto, é também nelas em que há maior probabilidade de encontrarmos uma propriedade que está em

conformidade com a Lei 12.651/2012 e possui APP totalmente íntegra (Tabela 4, Figura 5).

Tabela 4: Coeficientes da regressão entre o déficit de APP e o tamanho da propriedade em módulos fiscais. Os coeficientes e valores de significância evidenciam que quanto menor a propriedade, maior a chance de a mesma não possuir déficit de APP. Ao ponto em que, dado que existe o déficit, o mesmo é proporcionalmente maior em propriedades pequenas.

DÉFICIT DE APP			
<i>Preditores</i>	<i>Estimates</i>	<i>CI</i>	<i>p</i>
Count Model			
(Intercepto)	-0,412	-0,419– -0,405	<0.001
Tam. em Módulos Fiscais	-0,100	-0,106– -0,094	<0.001
Zero-Inflated Model			
(Intercepto)	-2,021	-2,040 – -2,006	<0.001
Tam. em Módulos Fiscais	-1,575	-1,614– -1,536	<0.001
One-Inflated Model			
(Intercepto)	0,235	0,226– 0,244	<0.001
Tam. em Módulos Fiscais	-1,190	-1,205 – -1,174	<0.001
Random Effects			
σ^2	0.729		
τ_{00} uf:biome	0.457		
τ_{00} biome	0.006		
N_{uf}	11		
N_{biome}	3		
Observações	428727		

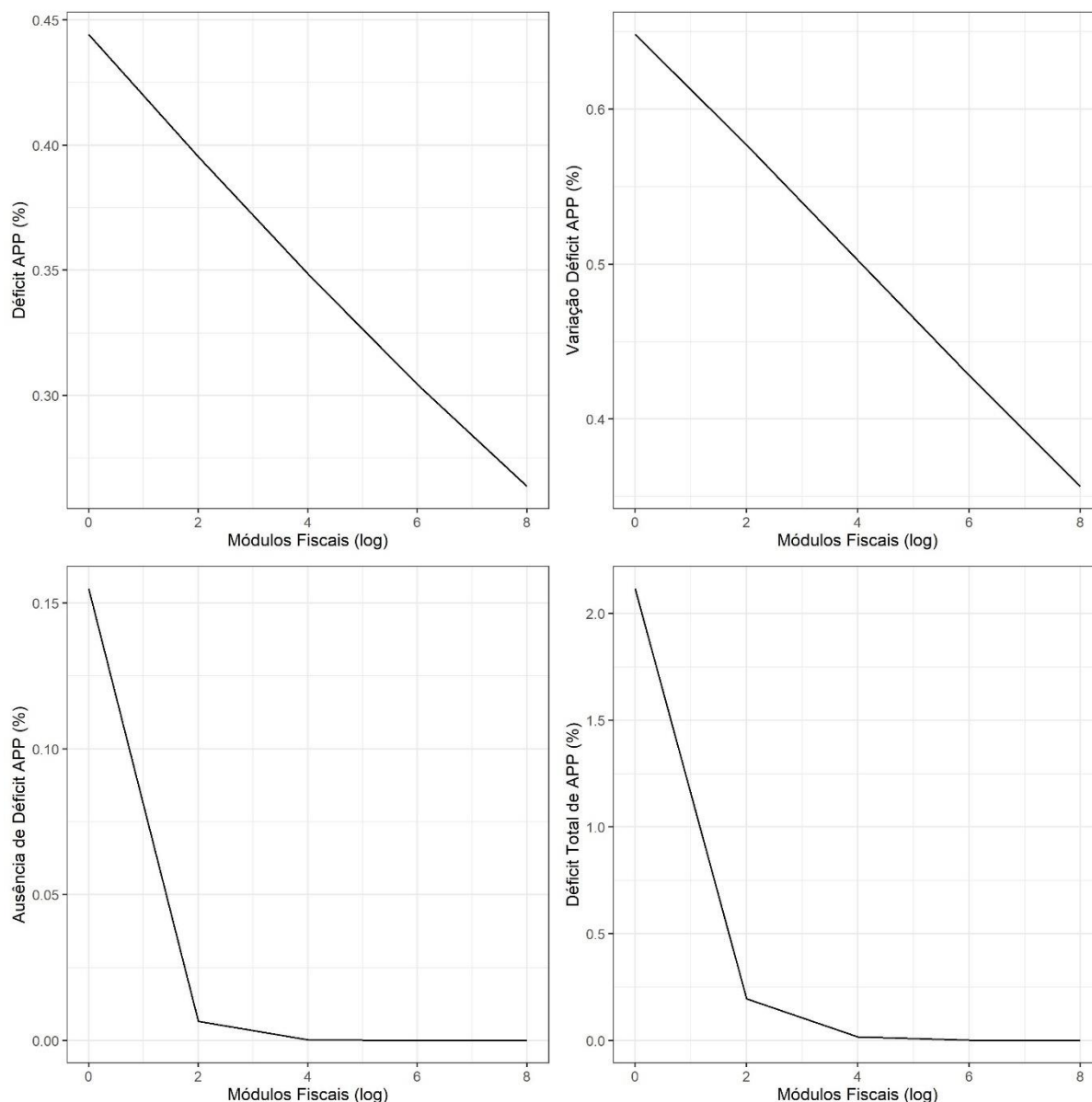


Figura 5: Relação entre percentual de déficit em APP e tamanho da propriedade em módulos fiscais. Os gráficos representam diferentes expressões do fenômeno. A tendência média da relação (a) evidencia a relação negativa, com menor déficit proporcional em propriedades maiores, este efeito possui maior variabilidade em propriedades menores (b), com estas propriedades apresentando tanto altos quanto baixos valores de déficit. Este fenômeno fica evidenciado na probabilidade de uma propriedade não apresentar déficit de APP (c) ou apresentar um déficit completo (d). Propriedades pequenas possuem probabilidade muito maior de não apresentar déficit do que propriedades grandes, no entanto, também possuem uma maior probabilidade de ter sua APP completamente transformada.

ii. Reserva Legal (RL)

Um padrão semelhante é observado para o déficit de Reserva Legal (RL), se diferenciando em relação à intensidade na qual os fenômenos ocorrem. No geral, quando são desconsideradas a completa ausência e presença de déficit) a o déficit médio de RL ocorre em proporção maior do que os déficits em APP ($\overline{DéficitRL} = 0,691$ e $\overline{DéficitAPP} = 0,343$). Novamente, propriedades menores possuem uma maior chance de não haver déficit, no entanto este efeito é ainda mais forte, com propriedades de tamanho maior do que 100 módulos fiscais já possuindo baixa probabilidade de não haver déficit ($Z_{871659,19,3} = -245.05$, $p < 0.001$; Tabela 4, Figura 5), da mesma forma também é maior a chance de haver um déficit total de RL. No entanto, quando comparado com os déficits totais de APP, é mais frequente a observação de propriedades grandes que possuem um déficit total de RL, um comportamento pouco provável para APP (Figura 4, Figura 5d). Ao desconsiderar os extremos, novamente as propriedades menores possuem, proporcionalmente, um maior déficit de RL, sendo estes mais elevados do que os déficits para APP, porém com menor efeito do tamanho da propriedade ($Z_{871659,19,3} = -282.7$, $p < 0.001$; Tabela 4, Figura 5). Apesar de possuir um padrão muito semelhante aos déficits de APP, os fenômenos divergem substancialmente quando avaliados os extremos, sendo possível encontrar propriedades grandes com déficit completo de RL, além da maior probabilidade de ausência de déficit ser mais frequente apenas em propriedades muito pequenas (<10 módulos fiscais). Se levarmos em conta que áreas de RL podem ser compensadas por aquisição de Cotas de Reserva Ambiental, os extremos evidenciam um possível déficit de CRA para a bacia, já que há propriedades grandes com um alto nível de déficit, enquanto a ausência de déficit é mais frequentes em propriedades pequenas.

Tabela 5: Coeficientes da regressão entre o déficit de RL e o tamanho da propriedade em módulos fiscais. Os coeficientes e valores de significância evidenciam que quanto menor a propriedade, maior a chance de a mesma não possuir déficit de RL. Ao ponto em que, dado que existe o déficit, o mesmo é proporcionalmente maior em propriedades pequenas.

DÉFICIT DE RL			
<i>Preditores</i>	<i>Estimates</i>	<i>CI</i>	<i>p</i>
Count Model			
(Intercepto)	0,862	0,803– 0,920	<0.001
Tam. em Módulos Fiscais	-0,010	-0,012– 0,032	<0.001
Zero-Inflated Model			
(Intercepto)	6,305	6,249 – 6,360	<0.001
Tam. em Módulos Fiscais	-2,613	-2,642– -2,583	<0.001
One-Inflated Model			
(Intercepto)	-1,815	-1,921– -1,708	<0.001
Tam. em Módulos Fiscais	-0,161	-0,201 – -0,120	<0.001
Random Effects			
σ^2	0.235		
τ_{00} uf:biome	0.540		
τ_{00} biome	0.232		
N_{uf}	11		
N_{biome}	3		
Observações	308912		

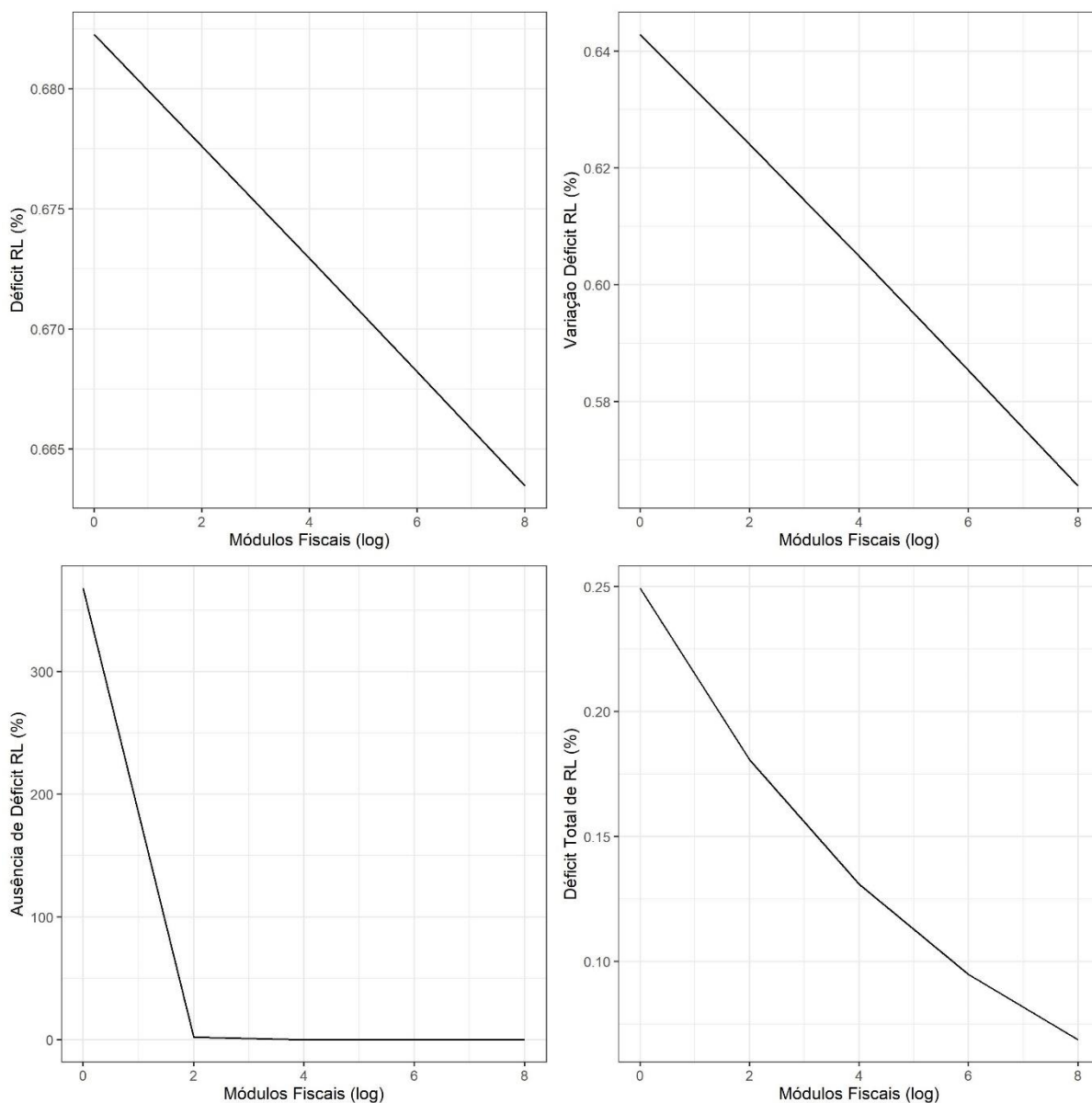


Figura 6: Relação entre percentual de déficit em RL e tamanho da propriedade em módulos fiscais. Os gráficos representam diferentes expressões do fenômeno. A tendência média da relação (a) evidencia a relação negativa, com menor déficit proporcional em propriedades maiores, este efeito possui maior variabilidade em propriedades menores (b), com estas propriedades apresentando tanto altos quanto baixos valores de déficit. Este fenômeno fica evidenciado na probabilidade de uma propriedade não apresentar déficit de RL (c) ou apresentar um déficit completo (d). Propriedades pequenas possuem probabilidade muito maior de não apresentar déficit do que propriedades grandes, no entanto, também possuem uma maior probabilidade de ter sua RL completamente transformada.

c. Oportunidade de Cotas de Reserva Ambiental (CRA)

As oportunidades de Cotas de Reserva Ambiental (CRA) evidenciam que, independentemente da Unidade Federativa, o Cerrado é o bioma que apresenta maior área na bacia (28.622.162,03 ha; 64,85%) e também o maior déficit de Reserva Legal, com 87,31% de todo o déficit da bacia (Tabela 2). O maior valor de déficit se encontra no Cerrado baiano, com um saldo negativo de reserva legal de 1.284.456 ha, sendo 1.568.771,09 ha de déficit e 284.314,89 ha de excedente de vegetação nativa fora de RL. O déficit nessa região apresenta 87,20% de todo o déficit de RL do estado da Bahia. Outras regiões deficitárias são os Cerrado de Minas Gerais (353.869,81 ha), Goiás (32.865,70 ha), Distrito Federal (15.561,41 ha) e Tocantins (1.970,92 ha), além dos biomas de Mata Atlântica de Sergipe (10.540,70 ha) e Alagoas (5.604,96 ha). A nível municipal, é notória a grande concentração de municípios com saldo negativo no bioma Cerrado (Figura 7).

Apesar de compor 14.015.680,36 ha (31,76%) de toda a área da bacia, o bioma da Caatinga apresenta 352.089,42 ha (11,62%) de déficit de RL, um valor proporcionalmente menor do que o ocupado pelo bioma, justificado pela existência de grandes excedentes de vegetação nativa fora de áreas de RL (Tabela 7). O que faz com que a oferta de CRA seja uma estratégia viável para propriedades que se localizem no bioma. No entanto, isto não se reflete na inexistência de municípios com saldo negativo, havendo uma quantidade significativa de municípios com déficit de RL na Caatinga baiana (Figura 7).

A Mata Atlântica é representada em 1.491.786,02 ha (3,38%) das propriedades inseridas neste estudo, sendo presente em apenas cinco estados (Alagoas, Sergipe, Bahia, Pernambuco e Minas Gerais; Tabela 7). Apesar de apresentar um saldo positivo para ofertas de CRA ao avaliar todo o bioma, a estratégia não é viável para Alagoas e Sergipe, que apresentam déficits de RL para o bioma (Figura 7). O saldo negativo nestas regiões indica que o estado como um todo terá que recorrer a estratégias de reflorestamento para sanar a Reserva Legal deficitária.

Tabela 7: Oportunidade de Oferta de Cotas de Reserva Ambiental (CRA) nos diferentes biomas inseridos em cada estado levando em conta o déficit de Reserva Legal (RL) e o excedente de vegetação nativa fora de áreas de Reserva Legal.

Estado	Bioma	Area (ha)	Deficit RL (ha)	Excedente Vegetação Nativa (ha)	Possibilidade de Oferta de CRA (ha)
AL	AF	169868.36	8216.52	2611.56	-5604.96
	CA	773865.88	18701.42	28599.34	9897.92
BA	AF	250.04	0.00	59.22	59.22
	CA	7260409.41	230163.91	1149026.40	918862.49
	CE	11469689.79	1568771.09	284314.89	-1284456.19
CE	CA	2560.22	142.87	339.00	196.13
DF	CE	146184.47	15815.28	253.87	-15561.41
GO	CE	278535.64	35010.37	2144.68	-32865.70
MG	AF	1123073.55	10517.76	91390.70	80872.94
	CA	1002270.01	18064.79	205299.80	187235.00
	CE	16705044.43	1021096.52	667226.71	-353869.81
PB	CA	3070.02	0.00	1148.27	1148.27
PE	AF	11569.38	169.18	1924.41	1755.22
	CA	4637686.43	78497.92	666784.04	588286.12
PI	CA	10158.10	0.00	4348.02	4348.02
	CE	15051.59	1050.88	1217.80	166.92
SE	AF	187024.69	13078.85	2538.16	-10540.70
	CA	325660.29	6518.51	16350.65	9832.15
TO	CE	7656.11	1970.92	0.00	-1970.92

AF = Mata Atlântica; CA = Caatinga; CE = Cerrado

AL = Alagoas; BA = Bahia; CE = Ceará; DF = Distrito Federal; GO = Goiás; MG = Minas Gerais; PB = Paraíba; PE = Pernambuco; PI = Piauí; SE = Sergipe; TO = Tocantins

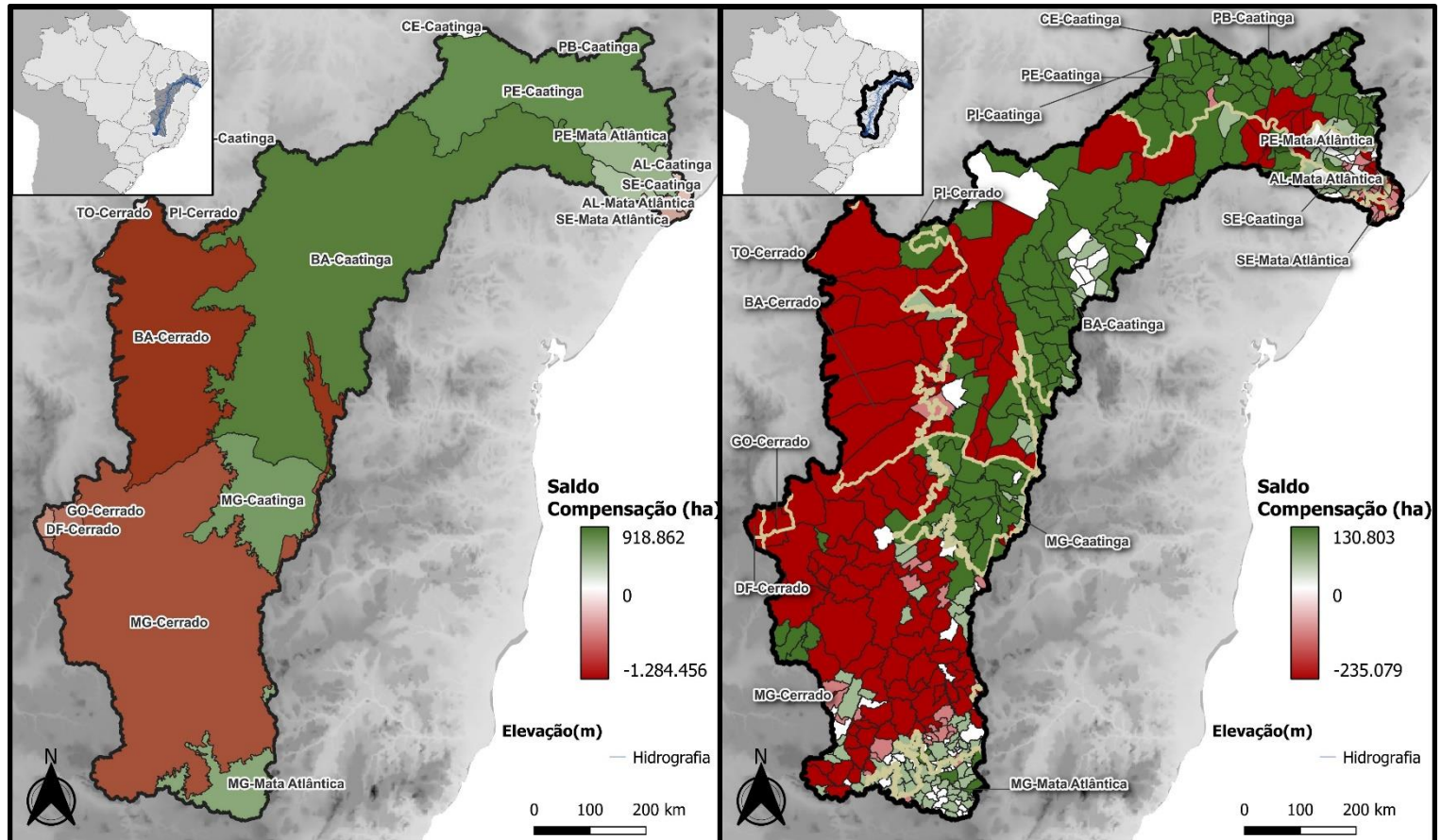


Figura 7: Saldo de oportunidade de compensação em forma de oferta de Cotas de Reserva Ambiental (CRA) em hectares nos biomas que compõem as diferentes unidades federativas da bacia do Rio São Francisco (esquerda) e para cada município que compõe esta subdivisão (direita). Valores em tom de vermelho mais escuro representam um déficit de vegetação nativa, representando que a simples oferta de CRA não é sustentável para sanar o déficit no conjunto bioma-unidade federativa. Valores em verde representam um superávit, indicando que a oferta de CRA é uma estratégia viável para os produtores daquela região.

5. Conclusão e Ressalvas

As propriedades da bacia do São Francisco exibem um déficit, considerando APP e RL combinadas, de 3.027.787 há, o que representa aproximadamente 6,8% de toda a área da bacia. Apesar de tal número aparentar um pequeno déficit, quando levamos em consideração este déficit em relação à área total de APP e RL que deveria existir na região de acordo com a Lei 12.651/2012, os déficits representam 23,85% e 44,95% desse montante, respectivamente. Estes déficits, como era de se esperar, não estão homogeneamente distribuídos por toda a bacia, sendo que áreas de APP se encontram mais degradadas em alguns municípios de Minas Gerais, no Alto São Francisco, além de áreas na Caatinga de Alagoas. As áreas de RL se encontram mais fortemente deficitárias no oeste baiano, além da porção de Cerrado de Minas Gerais, Goiás, Distrito Federal e Tocantins, além da margem oeste do São Francisco na Caatinga baiana e áreas de Mata Atlântica de Sergipe e Alagoas. A estratégia de oferta de Cotas de Reserva Ambiental (CRA), que poderia ser uma estratégia válida de abatimento do déficit de RL na bacia, torna-se de aplicabilidade incerta, já que nas regiões nas quais o déficit de RL é mais expressivo não há excedente de vegetação nativa suficiente para cobrir este déficit. No entanto, a oferta e compra de CRA pode ser uma estratégia altamente viável para propriedades inseridas no bioma da Caatinga, sendo de baixa viabilidade para o conjunto de propriedades inseridas no bioma Cerrado.

Há de se considerar que as análises presentes neste documento tomaram como base o uso e cobertura da terra do ano de 2013, já que se trata de uma base de dados mais robusta e confiável. No entanto, há uma lacuna de quase uma década. Uma análise comparativa do Mapbiomas neste período mostra que a situação atual pode apresentar um déficit ainda maior. Neste intervalo de 9 anos houve uma perda de vegetação nativa de 2.509.738 ha, parcialmente compensada pelo ganho de vegetação nativa de 1.276.618 ha. Esta diferença representa um aumento de 37,47% no déficit de APP e RL, ou uma redução de 39,45% na possibilidade de oferta de CRA.

6. Referências

- Brooks, M. E., Kristensen, K., van Benthem, K. J., Magnusson, A., Berg, C. W., Nielsen, A., ... Bolker, B. M. (2017). glmmTMB balances speed and flexibility among packages for zero-inflated generalized linear mixed modeling. *R Journal*, 9(2), 378–400. doi:10.32614/rj-2017-066
- Freitas, F. L. M. de, Sparovek, G., & Matsumoto, M. H. (2016). A adicionalidade do mecanismo de compensação de reserva legal da lei N 12.651/2012: uma análise da oferta e demanda de Cotas de Reserva Ambiental. In *Mudanças no código florestal brasileiro: desafios para a implementação da nova lei* (pp. 125–158).
- Guidotti, V., Freitas, F. L. M., Sparovek, G., Pinto, L. F. G., Hamamura, C., Carvalho, T., & Cerignoni, F. Números detalhados do novo Código Florestal e suas implicações para os PRAs (2017). Piracicaba: Imaflora. Retrieved from http://www.imaflora.org/downloads/biblioteca/5925cada05b49_SUSTemDEB_low_web_links.pdf
- Lüdecke, D. (2018). ggeffects: Tidy Data Frames of Marginal Effects from Regression Models. *Journal of Open Source Software*, 3(26), 772. doi:10.21105/joss.00772
- R Development Core Team. (2022). R: A language and environment for statistical computing. Vienna.
- 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. *Environmental Science and Technology*, 49(17), 10285–10293. doi: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? *Environmental Science and Policy*, 16, 65–72. doi:10.1016/j.envsci.2011.10.008
- Tavares, P. A., Brites, A. D., Sparovek, G., Guidotti, V., Cerignoni, F., Aguiar, D., ... Molin, P. G. (2019). Unfolding additional massive cutback effects of the Native Vegetation Protection Law on Legal Reserves, Brazil. *Biota Neotropica*, 19(4), 95–97. doi:10.1590/1676-0611-bn-2018-0658