



IIS

**INSTITUTO
INTERNACIONAL PARA
SUSTENTABILIDADE**

**Oportunidades de
restauração em três
paisagens localizadas no
bioma Mata Atlântica**

INTERNATIONAL CLIMATE INITIATIVE (IKI)

INSTITUTO INTERNACIONAL PARA SUSTENTABILIDADE

Este relatório é um dos produtos do projeto intitulado “Unlocking economic opportunities to scale Forest and Landscape Restoration in Brazil”, desenvolvido com apoio da Iniciativa Internacional de Proteção ao Clima (IKI) do Ministério Federal do Meio Ambiente, Conservação da Natureza, Construção e Segurança Nuclear (BMUB).

Novembro, 2019



INSTITUTO
INTERNACIONAL PARA
SUSTENTABILIDADE



Federal Ministry
for the Environment, Nature Conservation
and Nuclear Safety

EQUIPE

Diretores Executivos

Bernardo Strassburg
Agnieszka Latawiec

Equipe Executora

Alvaro Iribarrem
Carlos Cordeiro
Catarina Jakovac
Diogo Rocha
Eduardo Lacerda
Eric Lino
Gustavo Malaguti
Juliana Almeida-Rocha
Luiz Gustavo S. de Oliveira
Marcus Vinícius Carvalho
Mariela Figueredo
Renata Capellão
Renato Crouzeilles

CONTEÚDO

1. Introdução geral.....	5
2. Descrição das áreas de estudo	7
3. Quantificação dos débitos ambientais	9
4. Custos de implementação da restauração	12
5. Priorização espacial da restauração para cada paisagem.....	13
6. Custos e benefícios econômicos de outras atividades correlatas.....	24
7. Conclusões e implicações.....	25
8. Referências	27

1. Introdução geral

Os elevados níveis de desmatamento e degradação de florestas tropicais ao redor do mundo têm colocado a restauração de ecossistemas como importante pauta nacional e internacional. A fim de incentivar a restauração de ecossistemas, diversos países, incluindo o Brasil, se comprometeram voluntariamente a restaurar 350 milhões de hectares até 2030, dentro do chamado *Bonn Challenge* (Chazdon et al. 2017). Ainda que tais acordos globais ajudem a pressionar governos para realizar a restauração e incentivar agências financiadoras a apoiar a execução dos programas, é na escala da paisagem que a restauração acontece e necessita de subsídios.

A Mata Atlântica abrange a região mais populosa do Brasil e já perdeu aproximadamente 68% da sua cobertura florestal para a expansão da agricultura, pecuária e desenvolvimento urbano (MapBiomas 2018), sendo, desta forma, um dos biomas mais ameaçados e com maiores necessidades de restauração no país (Latawiec et al. 2015). Segundo a Lei de Proteção da Vegetação Nativa (Lei Nº 12.651/2012), propriedades rurais acima de quatro módulos fiscais (o valor do módulo fiscal no Brasil varia de 5 a 110 hectares dependendo do município; <http://www.incra.gov.br/tabela-modulo-fiscal>) devem ter determinada proporção da sua área destinada à conservação de ecossistema nativo (Reserva Legal; RL). Na Mata Atlântica, os proprietários rurais devem ter cobertura de vegetação nativa em pelo menos 20% da área total de sua propriedade. Adicionalmente, devem ser preservadas todas as Áreas de Preservação Permanente (APP), as quais incluem áreas ao longo de rios, ao redor de nascentes, em topo de morros e com declive maior do que 45°. Quando a propriedade não possui a quantidade exigida por lei de RL e APP, o proprietário possui um débito ambiental e é obrigado a recuperar ou compensar esse débito de vegetação nativa.

Dentre os fatores que podem determinar a viabilidade dos programas de recuperação da vegetação nativa, a escolha da técnica de restauração a ser utilizada destaca-se como crucial devido à grande variação nos custos associados às diferentes técnicas (TNC 2017). Mais além, a escolha da técnica de restauração deve ser baseada no contexto socio-ecológico de cada paisagem. A condução da regeneração natural, por exemplo, é uma das técnicas mais baratas de recuperação da vegetação nativa. Ela consiste no isolamento da área a ser recuperada para proteção contra fatores de degradação, controle de formigas e de espécies invasoras, permitindo que a floresta se recupere com pequena intervenção humana (Shono et al. 2007; Zahawi et al. 2014; Crouzeilles et al. 2017). Considerando que o sucesso desta técnica depende da proximidade de fontes de sementes e propágulos, bem como das condições de fertilidade do solo (Jakovac et al. 2015), esta técnica costuma ser eficiente em áreas pouco degradadas que não tiveram uso intensivo do solo (por exemplo, uso constante de maquinário) e que estão localizadas em paisagens com alta quantidade de cobertura florestal. Já a restauração ativa, baseada no plantio total de mudas, é a técnica de recuperação da vegetação nativa mais custosa e que demanda maior intervenção humana. Esta técnica normalmente é necessária em áreas que foram muito degradadas a ponto de perderem sua capacidade de resiliência. Vale destacar ainda que existem outras técnicas de restauração dentro desse gradiente de menor (condução da regeneração natural) até maior (plantio total de mudas) intervenção humana, como por exemplo, a semeadura direta e o enriquecimento com espécies nativas (TNC 2017).

O planejamento de um projeto de restauração deve considerar outros fatores além da técnica de restauração a ser utilizada, visto que os custos e benefícios potencialmente gerados pela restauração variam no tempo e no espaço. Um estudo recente desenvolvido por Strassburg e colaboradores (2019) apresenta uma metodologia inovadora de priorização espacial multicritério da restauração que pode ser utilizada para otimizar o planejamento e implementação de ações de restauração. Com essa metodologia é possível identificar áreas que permitam minimizar os custos e maximizar os benefícios gerados pela restauração. Esta metodologia se baseia nos resultados de uma modelagem espacialmente explícita utilizando diferentes cenários que otimizam critérios ecológicos e econômicos, permitindo identificar sinergias e *trade-offs* entre estes. A aplicação desta metodologia para o bioma Mata Atlântica revelou que é possível aumentar a custo-efetividade de ações de restauração, em termos de conservação da biodiversidade, em até 8 vezes em comparação com um cenário onde a restauração seria realizada sem planejamento sistemático (ou seja, em um cenário *Business-As-Usual*). O cenário de otimização multicritério, por exemplo, aumentaria o potencial de conservação da biodiversidade (medido em termos de extinção evitada de espécies) em 257%, aumentaria a mitigação a mudanças climáticas (ou seja, sequestro de CO₂) em 105% e reduziria os custos da restauração (custo de oportunidade e de implementação da restauração) em 57%. A vantagem desta metodologia é permitir que o tomador de decisão escolha o cenário que melhor se aplica ao contexto específico onde a restauração será implementada. Nesse exercício, no entanto, a metodologia proposta não considerou benefícios econômicos que podem ser gerados pela restauração. Por exemplo, as diferentes técnicas de restauração podem ser associadas à implementação de atividades produtivas, como sistemas agroflorestais e silvicultura de espécies nativas. Nesse caso, os benefícios econômicos resultantes podem compensar o investimento inicial.

Neste relatório foram identificadas oportunidades de restauração em três paisagens localizadas no bioma Mata Atlântica. Para isso, são apresentados: (i) a quantificação do débito de RL e APP hídrica em cada paisagem; (ii) a variação de custos de diferentes técnicas de restauração; (iii) a identificação de áreas prioritárias para restauração resultante de uma análise de custo-efetividade para subsidiar o planejamento da restauração; e (iv) um levantamento sobre atividades produtivas que podem contribuir para a restauração da paisagem.

2. Descrição das áreas de estudo

Este estudo foi realizado em três paisagens na Mata Atlântica, abrangendo parte dos estados de Minas Gerais, São Paulo e Espírito Santo (Figura 1). A delimitação dessas paisagens foi pautada na presença das seguintes regiões hidrográficas: Rio Doce/MG (Figura 2), Vale do Paraíba/SP (Figura 3) e Rios Itaúnas e São Mateus/ES e MG (Figura 4).

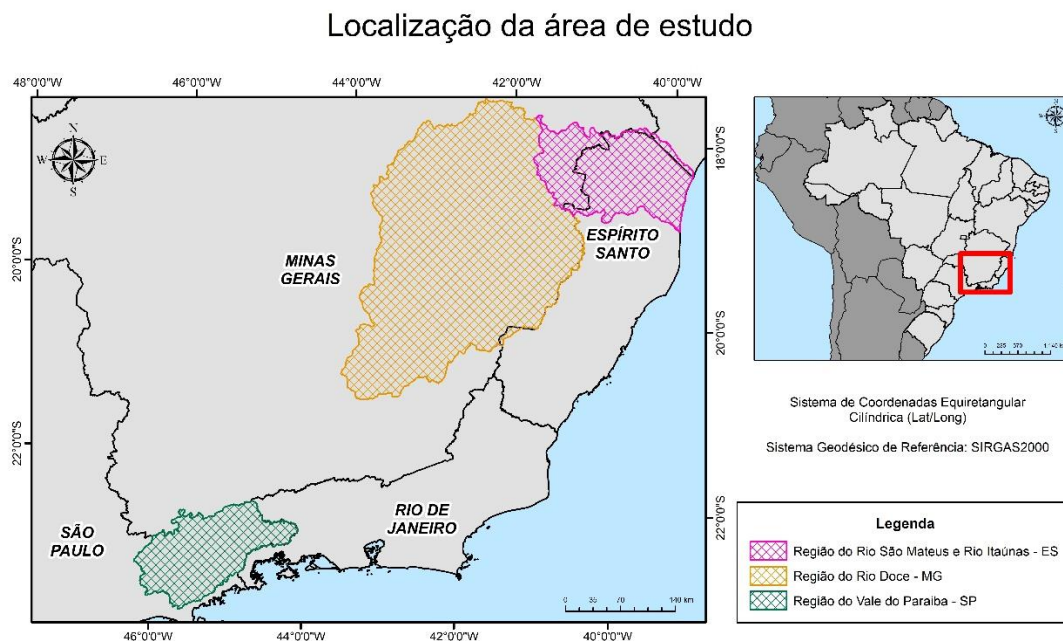


Figura 1. As três paisagens consideradas neste estudo estão inseridas na região sudeste do país, ocupando cerca de 10.472.802,46 hectares do território brasileiro.

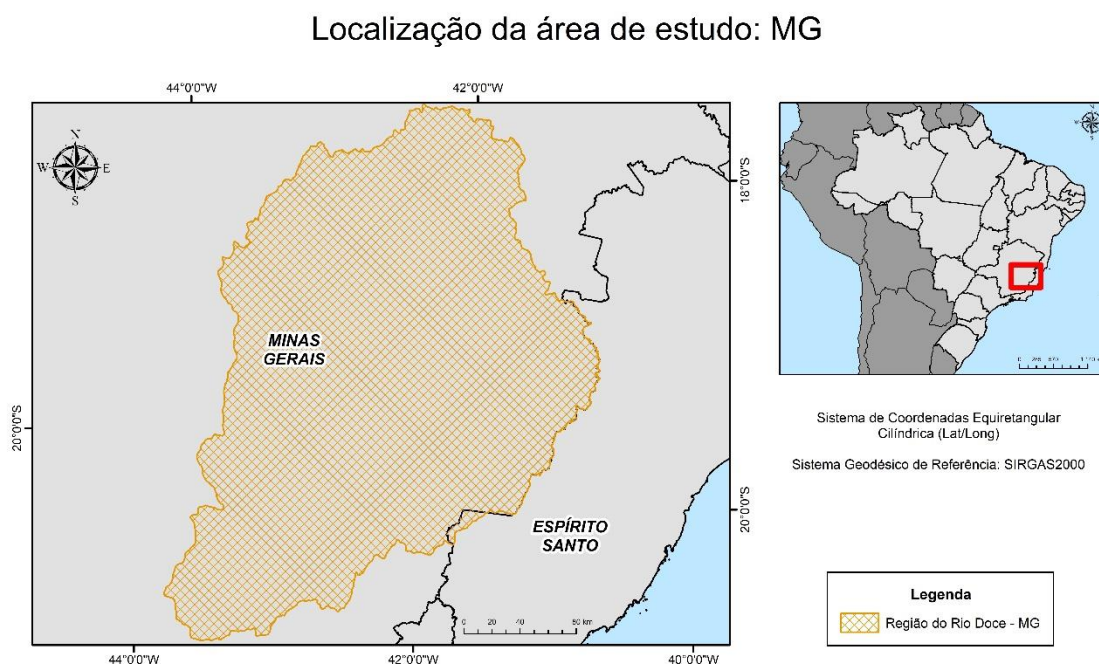


Figura 2. A região do Rio Doce, localizada majoritariamente no estado de Minas Gerais, apresenta uma área de 7.169.023,22 hectares. Entre as três paisagens consideradas neste estudo, esta é a que apresenta a maior extensão territorial.

Localização da área de estudo: SP

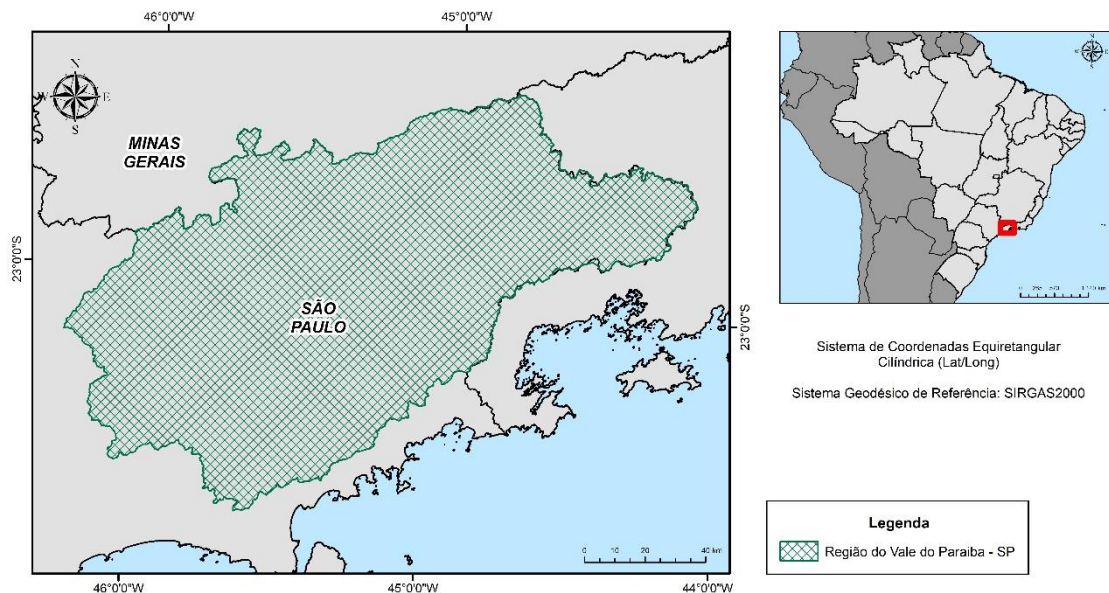


Figura 3. A região do Paraíba do Sul, localizada majoritariamente no estado de São Paulo, possui uma área de cerca de 1.449.065,59 hectares.

Localização da área de estudo: ES / MG

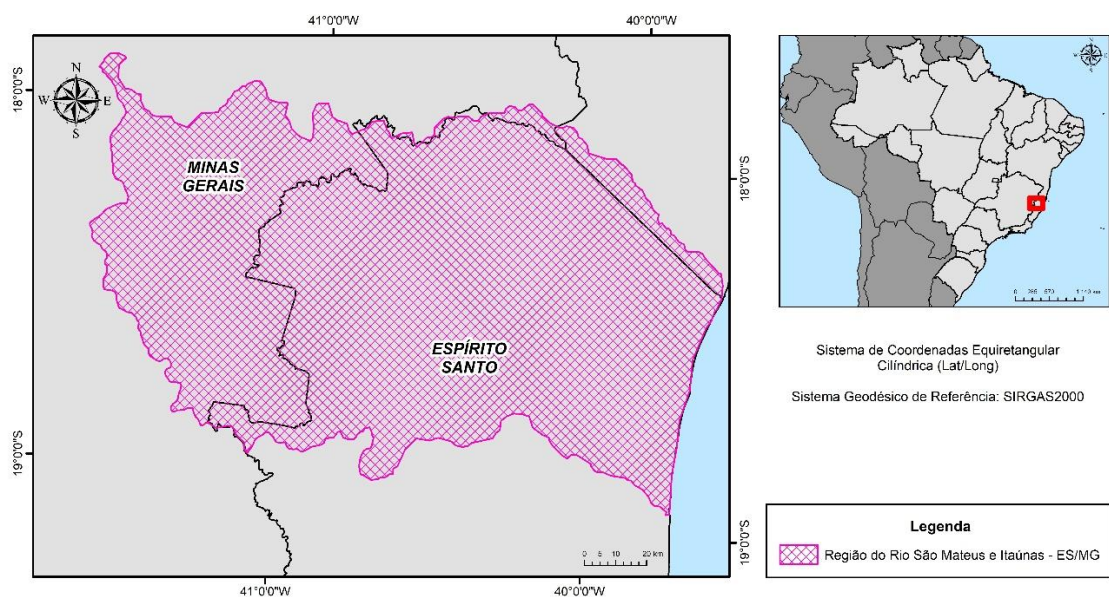


Figura 4. A região dos Rios Itaipava e São Mateus, localizada majoritariamente no estado do Espírito Santo, totaliza uma área de 1.854.713,65 hectares.

3. Quantificação dos débitos ambientais

Baseado na Lei de Proteção da Vegetação Nativa, o débito ambiental de RL e APP totaliza aproximadamente 10,3 milhões de hectares, sendo 5,17 e 5,2 milhões de hectares de RL e APP, respectivamente (Strassburg et al. 2019). A fim de subsidiar o planejamento estratégico para a restauração das paisagens incluídas neste relatório, foram calculados os débitos de APPs hídricas – áreas destinadas principalmente à preservação dos recursos hídricos, e que não podem ser utilizadas para atividades agropecuárias, extração florestal ou uso recreativo (Senado Federal do Brasil 2011), e RLs dentro de cada paisagem. Esse relatório foca apenas na quantificação das APPs hídricas devido à disponibilidade de dados georreferenciados para fazer tais análises.

Para calcular o débito de APPs hídricas e de RLs dentro de cada paisagem, foram utilizadas diferentes bases de dados espacialmente explícitas:

- (i) mapeamento de APP hídrica produzido pela Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS), disponibilizado através do “Repositório público de mapas e *shapefiles* para download” (<http://geo.fbds.org.br/>). As APPs hídricas foram identificadas a partir de classificação supervisionada e vetorização das imagens do sensor REIS (RapidEye Earth Imaging System) (FBDS 2018). Esta camada contém os limites das APPs ripárias compatíveis com a escala de 1:25.000;
- (ii) mapeamento do uso e cobertura do solo para o ano de 2017, produzido e disponibilizado pelo projeto MapBiomas – Coleção 3.1 (<http://plataforma.mapbiomas.org/map#coverage>). Esse mapeamento está disponível na resolução de 30 metros; e
- (iii) mapeamento da malha fundiária brasileira produzido pelo Instituto de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola (IMAFLOA) e Laboratório de Planejamento de Uso do Solo e Conservação da ESALQ/USP (GEOLAB), disponível através do Atlas da Agropecuária Brasileira (<http://atlasagropecuario.imaflora.org/>; Freitas et al. 2018).

Todos os dados espaciais foram reprojetados para a Projeção Cônica Equivalente de Albers (South America Albers Equal Area Conic), a qual conserva a proporcionalidade das áreas.

Com relação à camada de malha fundiária, inicialmente foram eliminados todos os objetos que não eram imóveis/propriedades, tais como: corpos d’água, vias públicas, comunidades quilombolas, entre outros. Posteriormente, foi feita uma inspeção a fim de detectar qualquer necessidade de edição dos dados, tais como: recalcular o valor de área (devido à reprojeção do dado), corrigir a vinculação de municípios às propriedades, e recalcular o número de módulos fiscais. As propriedades foram então classificadas por tamanho seguindo a especificação do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA): (i) pequena propriedade é todo imóvel rural cuja área compreende entre 1 e 4 módulos fiscais; (ii) média propriedade é todo imóvel rural cuja área é superior a 4 e inferior a 15 módulos fiscais; e (iii) grande propriedade é todo imóvel rural cuja área é superior a 15 módulos fiscais. Por fim, os mapas de propriedades rurais (camada de malha fundiária) e de APP hídrica foram sobrepostos ao mapa de uso e cobertura da terra para quantificação dos débitos de APP e RL dentro de cada propriedade, respectivamente.

Vale destacar que as propriedades com menos de 4 módulos fiscais não necessitam de recuperação de RL.

Considerando valores absolutos (em hectares), o maior débito de APPs hídricas foi identificado na região do Rio Doce/MG, totalizando 398 mil hectares, seguida pela região do Vale do Paraíba/SP com 150 mil hectares, e por fim a região dos Rios Itaúnas e São Mateus/ES com 91 mil hectares (Tabela 1, Figura 5). O mesmo padrão foi encontrado para o débito de RL, de modo que a região do Rio Doce/MG apresenta um débito de cerca de 272 mil hectares, seguida da região do Vale do Paraíba/SP com 77 mil hectares, e a região dos Rios Itaúnas e São Mateus/ES com 76 mil hectares (Tabela 1, Figura 6). Em termos de porcentagem, a região que apresenta maior extensão do seu território com débito tanto de APP hídrica quanto de RL é o Vale do Paraíba/SP (Tabela 1).

Tabela 1. Valores totais de débito de APP hídrica (considerando todas as propriedades) e de RL (considerando apenas propriedades > 4 módulos fiscais) calculados para as três paisagens analisadas.

Paisagem	Área total	Área em propriedade privada (todos os tamanhos)	Área em propriedade privada média e grande	Débito de APP hídrica		Débito de Reserva Legal	
	hectares	hectares	hectares	hectares	%	hectares	%
Vale do Paraíba/SP	1.449.065,59	894.879,4	2.211.984,88	150.188,92	16,78	76.588,72	33,81
Rios Itaúnas e São Mateus/ES	1.854.713,65	1.155.462	804.291,03	91.365,49	7,91	75.702,78	3,51
Rio Doce/MG	7.169.023,22	4.307.012,63	2.181.632,13	397.742,43	9,23	271.916,25	12,29

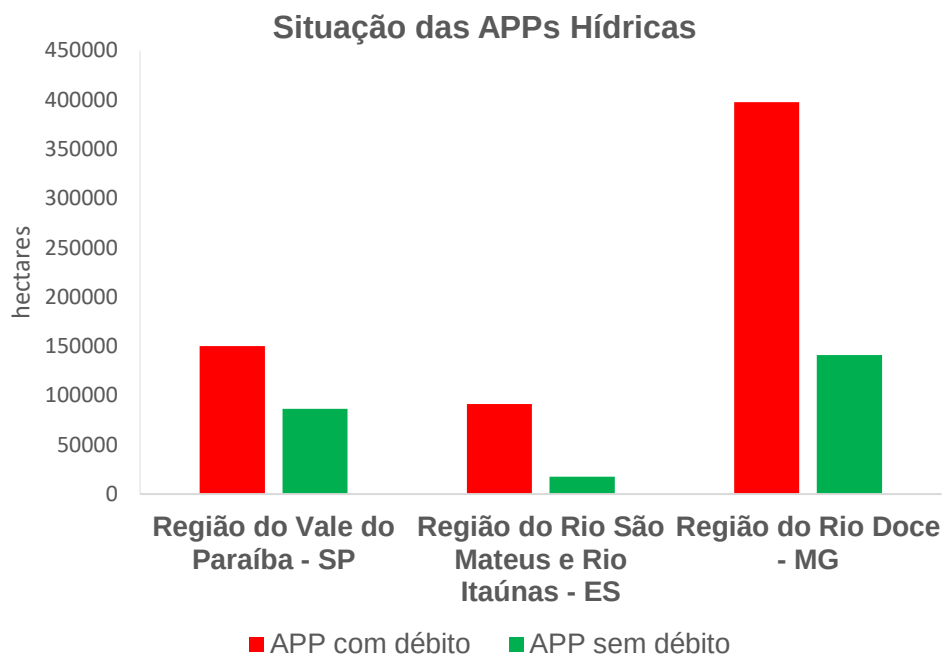


Figura 5. Situação das APPs hídricas nas três regiões do estudo.

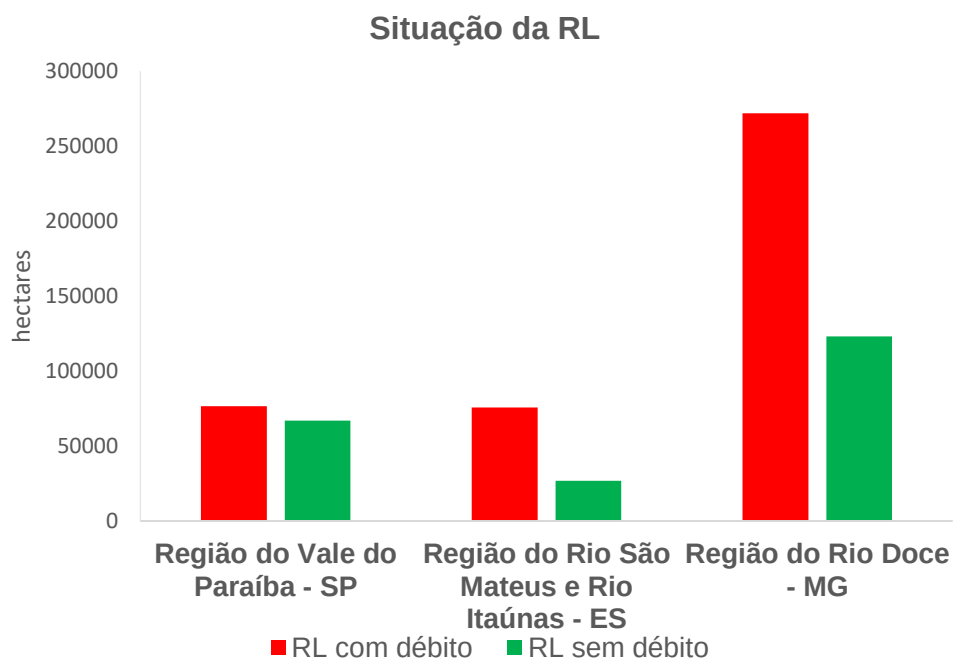


Figura 6. Situação da Reserva Legal nas três regiões do estudo.

4. Custos de implementação da restauração

O custo de implementação da restauração varia na ordem de 114 vezes dentro de um gradiente, que vai desde a técnica de (condução da) regeneração natural ao plantio total de mudas (TNC 2017). Na condução da regeneração natural, os custos são principalmente relacionados ao cercamento da área e controle de formigas. Na restauração ativa baseada em plantio total de mudas, os custos são relativos à produção de mudas em viveiros e mão de obra para plantio e manutenção durante os dois primeiros anos.

Para estimar o custo de implementação da restauração nas três paisagens, foi considerado o custo por hectare específico para a implementação de cinco técnicas de restauração que são mais utilizadas na Mata Atlântica: (i) plantio total de mudas; (ii) adensamento/enriquecimento com mudas; (iii) adensamento/enriquecimento com sementes; (iv) condução da regeneração natural; e (v) regeneração natural espontânea. Para cada técnica, foi considerado o custo por hectare de acordo com as estimativas da TNC (2017). Com base nos cálculos de débito de APP e RL foi estimado o custo de implementação de cada uma destas técnicas para cada paisagem (Tabela 2).

Tabela 2. Custos das técnicas mais utilizadas para restauração ecológica dentro do bioma Mata Atlântica. São apresentados os custos de implementação por hectare, de acordo com TNC (2017), e o custo total de implementação da restauração em cada paisagem de acordo com o débito ambiental de RL e APP hídrica apresentado neste relatório.

	Técnica de restauração	Custo por hectare	Custo total por paisagem		
			Rio Doce/MG	Vale do Paraíba/SP	Rios Itaúnas e São Mateus/ES
		R\$/ha	R\$	R\$	R\$
Ativa	Plantio total de mudas	21.271,00	14.244.309.782,28	4.823.787.180,44	3.553.709.171,17
	Adensamento/Enriquecimento – muda	12.723,00	8.520.067.385,64	2.885.291.913,72	2.125.609.599,21
	Adensamento/Enriquecimento – semente	6.309,00	4.224.876.612,12	1.430.740.130,76	1.054.033.715,43
	Condução da regeneração natural	2.940,00	1.968.796.519,20	666.726.261,60	491.180.713,80
Passiva	Regeneração natural espontânea	186,00	124.556.514,48	42.180.641,04	31.074.698,22

Considerando os débitos de APP hídrica e RL, o custo total estimado para a recuperação da vegetação nativa nas 3 paisagens conjuntamente varia de R\$ 198 milhões (regeneração natural) até cerca de R\$ 23 bilhões (plantio total de mudas). Por exemplo, na região do Rio Doce/MG, paisagem com maior débito ambiental, o custo da regeneração natural seria de aproximadamente R\$ 124 milhões, podendo chegar a R\$ 14 bilhões com plantio total de mudas.

5. Priorização espacial da restauração para cada paisagem

As áreas de APP possuem sua localização definida pela legislação ambiental, mas as áreas de RL podem ser alocadas utilizando inteligência espacial para planejar a restauração de forma mais custo-efetiva. A fim de identificar áreas prioritárias para recuperação do débito ambiental de RL dentro de cada paisagem, foi realizada uma modelagem multicritério baseada em programação linear contrastando diferentes cenários de áreas prioritárias para restauração. A modelagem multicritério espacialmente explícita utilizada para esta priorização é uma abordagem eficiente, considerando seu tempo de execução, e permite a obtenção de soluções ótimas com flexibilidade de customização para incorporar aspectos relevantes para contextos socio-ecológicos específicos (Strassburg et al. 2019). Neste relatório, foram simulados cenários de recuperação da vegetação nativa com diferentes objetivos (benefícios e custos) considerando uma meta de recuperar aproximadamente 424 mil hectares de áreas desmatadas, que correspondem ao débito total de RL das três paisagens. As simulações foram realizadas de duas maneiras distintas: (i) *com restrição* do valor de área a ser restaurada dentro de cada paisagem, sendo este correspondente ao débito de RL específico de cada paisagem (Tabela 1); e (ii) *sem restrição* de área a ser restaurada dentro de cada paisagem, mas mantendo a mesma área total a ser restaurada dentro da área conjunta das três paisagens (ou seja, permitindo que o débito de uma paisagem seja compensado em outra). A partir destes resultados, foram quantificados: (i) a variação de custos e benefícios da restauração entre os cenários simulados com diferentes objetivos, e (ii) os *trade-offs* entre objetivos, visando identificar uma solução ótima do ponto de vista econômico e ecológico.

A modelagem multicritério foi baseada em uma função-objeto que determina a quantidade de floresta que deve ser recuperada em determinada unidade espacial para maximizar os benefícios e/ou minimizar os custos. Para isso, foram construídos quatro cenários de áreas prioritárias para a recuperação da vegetação nativa, com base: A. na maximização da conservação da biodiversidade, através da redução do risco de extinção de espécies; B. na maximização da mitigação das mudanças climáticas, através do potencial sequestro de carbono na biomassa aérea; C. na minimização dos custos de restauração, considerando custo de oportunidade da terra e custo de implementação da restauração; e D. no alcance de todos os critérios simultaneamente. Os cenários “A”, “B” e “C” otimizam apenas um critério, logo os seus resultados são os melhores que seriam esperados para o critério otimizado. Já o cenário “D” busca um equilíbrio entre todos os critérios, considerando os possíveis *trade-offs* existentes. Uma explicação mais detalhada sobre a construção das camadas e o método de priorização espacial para restauração pode ser encontrada em Strassburg e colaboradores (2019).

A camada de biodiversidade foi gerada a partir de uma função de extinção de espécies evitada a partir da restauração. Esta função reflete a diminuição do risco de extinção conforme aumenta a área do habitat para cada espécie. Foram utilizados dados de ocorrência de 119 espécies de anfíbios, 221 espécies de aves e 1.880 espécies de plantas lenhosas, disponíveis em Strassburg et al. (2019). Para cada espécie foi realizada uma modelagem de nicho, seguida de um recorte para cada uma das três paisagens a fim de identificar áreas com adequabilidade ambiental para que essas espécies possam ocorrer. Ou seja, áreas em que, caso a recuperação da vegetação nativa aconteça, exista a

possibilidade que a espécie retorne e, conseqüentemente, a sua chance de extinção seja reduzida.

A camada de potencial sequestro de carbono foi construída a partir de um modelo preditivo baseado na relação entre o estoque de carbono na biomassa acima do solo em florestas secundárias após 20 anos, e variáveis ambientais que melhor explicam este potencial: sazonalidade da precipitação, precipitação anual e déficit hídrico (Poorter et al. 2016). Foi modelada a quantidade de carbono (ton/ha) possível de ser estocada após 20 anos de recuperação florestal no bioma Mata Atlântica.

O custo de oportunidade da terra foi calculado em função do valor bruto da produção. Esse valor varia de acordo com o município e uso da terra, dependendo se este é agricultura ou pastagem (Crouzeilles et al. em revisão). Os dados utilizados para esta modelagem foram extraídos do censo agropecuário do IBGE (IBGE 2019). Para o custo de implementação da restauração foi considerado que este aumenta linearmente conforme diminui o potencial de regeneração natural (Strassburg et al. 2019). O potencial de regeneração natural foi quantificado com base no que aconteceu de regeneração natural nos últimos 20 anos na Mata Atlântica (Crouzeilles et al. em revisão). Esse histórico foi utilizado para entender quais fatores socio-ecológicos levaram a área a se recuperar naturalmente e a partir disso foi desenvolvido um modelo preditivo de potencial de regeneração natural – variando de 0 (sem potencial) até 1 (máximo potencial) – nos próximos 20 anos (até 2035).

Considerando o somatório dos resultados dos cenários de otimização para as três paisagens (Tabela 3): (i) o cenário de maximização da conservação da biodiversidade pode evitar a extinção de 149 (*com restrição*) a 168 (*sem restrição*) espécies; (ii) o cenário de maximização da mitigação das mudanças climáticas pode sequestrar de 67,1 (*com restrição*) a 70,8 (*sem restrição*) milhões de toneladas de CO₂ da atmosfera; e (iii) o cenário de minimização dos custos de restauração (soma dos custos de oportunidade e custos de implementação) pode demandar um investimento total mínimo de R\$ 5,4 (*sem restrição*) bilhões a R\$ 5,8 (*com restrição*) bilhões. Em suma, a abordagem *sem restrição* teve os melhores retornos para todos os cenários, com relação aos critérios que foram otimizados (Tabela 3).

Tabela 3. Valores referentes ao resultado da priorização espacial multicritério para restauração de aproximadamente 424.242 ha na área conjunta das três paisagens focais utilizando duas abordagens: (i) *com restrição* de área a ser restaurada dentro de cada paisagem baseada nos débitos de Reserva Legal; e (ii) *sem restrição* de área a ser restaurada dentro de cada paisagem. Foram utilizados quatro cenários: (i) maximização da conservação da biodiversidade, (ii) maximização da mitigação das mudanças climáticas, (iii) minimização do custo de restauração, e (iv) cenário multicritério, ou seja, otimização simultânea de todos estes critérios.

Cenário	Abordagem	Critérios			
		Biodiversidade (nº de espécies)	Carbono (toneladas)	Custo total de restauração	
				Custo de oportunidade (R\$)	Custo de implementação (R\$)
Maximização da conservação da biodiversidade	<i>com restrição</i>	149,04	59.386.091,03	3.895.742.538,08	3.828.434.325,64
	<i>sem restrição</i>	167,52	56.604.074,92	4.061.860.008,00	4.119.178.290,00
Maximização da mitigação das mudanças climáticas	<i>com restrição</i>	80,63	67.091.422,81	4.019.876.820,78	3.808.074.505,54
	<i>sem restrição</i>	102,13	70.792.081,05	4.397.847.294,00	3.289.842.660,00
Minimização dos custos de restauração	<i>com restrição</i>	109,15	58.952.545,05	3.412.291.932,69	2.357.215.800,13
	<i>sem restrição</i>	79,64	61.211.149,76	3.317.517.148,00	2.120.459.048,00
Multicritério	<i>com restrição</i>	114,92	62.923.783,97	3.514.781.401,25	2.429.192.106,07
	<i>sem restrição</i>	90,75	65.858.755,75	3.418.375.265,00	2.224.087.408,00

Foram identificados alguns *trade-offs* entre os potenciais custos e benefícios da restauração, os quais foram diferentes dependendo da abordagem utilizada. Na abordagem de priorização *com restrição* de área a ser restaurada dentro de cada paisagem, o cenário de maximização da conservação da biodiversidade apresenta: (i) o segundo maior custo de restauração, sendo este aproximadamente 34% maior do que o estimado para o cenário de minimização de custos de restauração (Tabela 3); e (ii) o segundo pior cenário em termos de maximização da mitigação das mudanças climáticas (Figura 7), com um declínio de aproximadamente 11% na quantidade total de carbono sequestrado em relação ao cenário de maximização de mitigação das mudanças climáticas (Tabela 3).

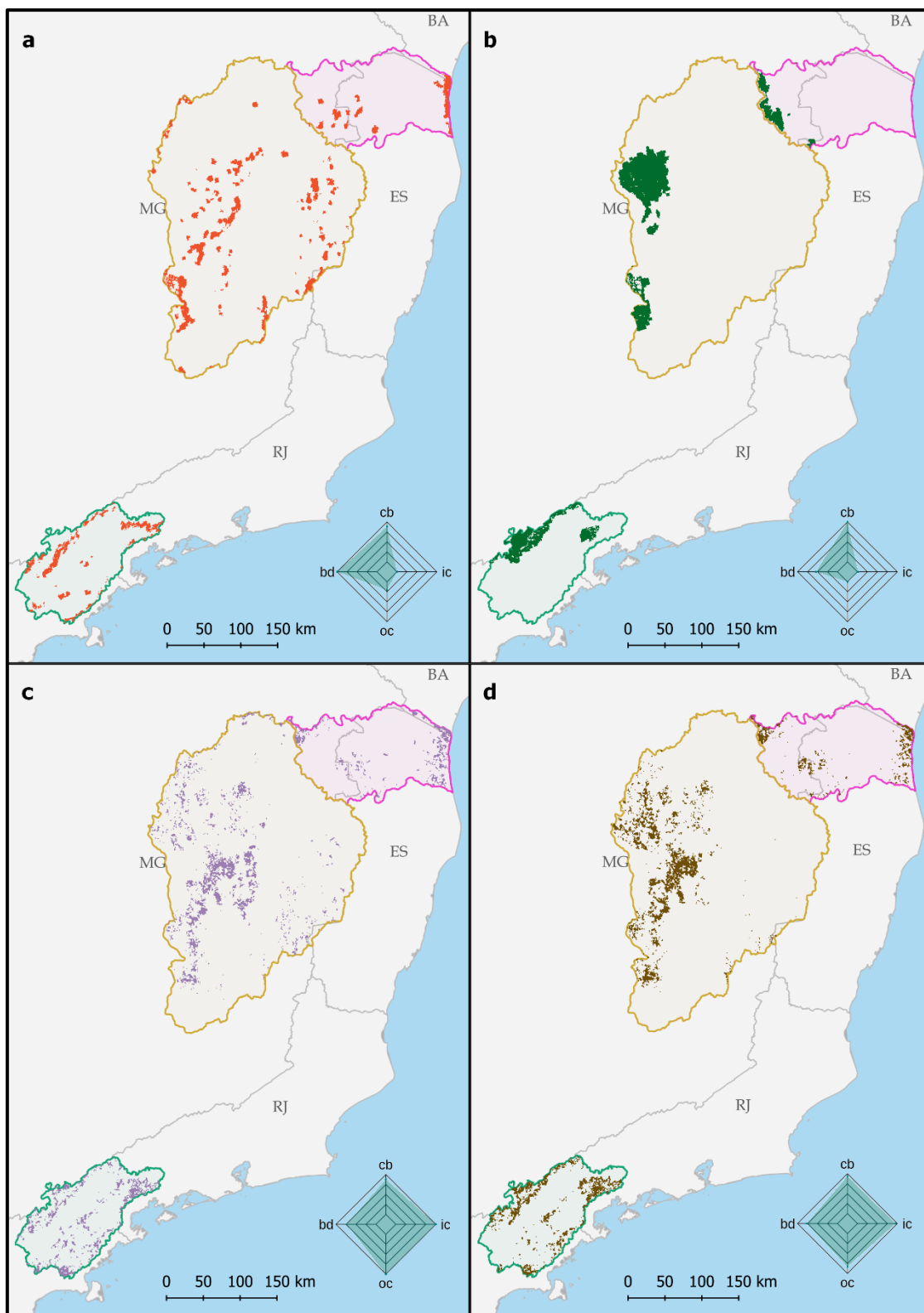


Figura 7. Configurações espaciais e diagramas de radar para os resultados da priorização espacial multicritério da restauração *com restrição* de áreas a serem restauradas dentro de cada paisagem (débitos de Reserva Legal). Foram utilizados quatro cenários (a) maximização da conservação da biodiversidade, (b) mitigação das mudanças climáticas, (c) minimização dos custos da restauração (custo de implementação e custo de oportunidade), e (d) cenário multicritério, ou seja, otimização simultânea de todos os

critérios. Os cenários apresentam quantificações para quatro critérios: biodiversidade (bd), carbono (cb), custo de oportunidade (oc) e custo de implementação (ic).

O cenário de maximização da mitigação das mudanças climáticas (*com restrição*) apresenta: (i) o maior custo total de restauração, com um acréscimo de aproximadamente 36% em relação ao cenário de minimização de custos de restauração (Tabela 3); e (ii) o pior cenário em termos de maximização da conservação da biodiversidade, com redução de aproximadamente 46% no número estimado de espécies que poderiam ter extinção evitada em relação ao cenário de maximização da conservação da biodiversidade (Tabela 3). O cenário de minimização de custos de restauração (*com restrição*) apresenta: (i) o segundo pior cenário em termos de conservação da biodiversidade, com redução de 27% no número de espécies cuja extinção poderia ser evitada em relação ao cenário de maximização da conservação da biodiversidade (Tabela 3); e (ii) o pior cenário em termos de mitigação das mudanças climáticas, com redução de aproximadamente 12% na quantidade total de carbono que poderia ser sequestrado em relação ao cenário de maximização da mitigação das mudanças climáticas (Tabela 3). Por fim, o cenário multicritério (*com restrição*) teve a segunda melhor performance para todos os critérios considerados, com: (i) decréscimo de 6% na quantidade de carbono sequestrado em relação ao cenário de maximização da mitigação das mudanças climáticas; (ii) decréscimo de 23% no número de espécies que podem ter extinção evitada em relação ao cenário de maximização de conservação da biodiversidade; e (iii) aumento de aproximadamente 3% no custo total de restauração em relação ao cenário de minimização do custo de restauração (Tabela 3).

Na abordagem de priorização *sem restrição* de área a ser restaurada dentro de cada paisagem, o cenário de maximização da conservação da biodiversidade apresenta: (i) o maior custo de restauração, sendo este aproximadamente 50% mais elevado do que o estimado para o cenário de minimização de custos de restauração (Tabela 3); e (ii) o pior cenário em termos de maximização da mitigação das mudanças climáticas (Figura 8), com um declínio de aproximadamente 20% na quantidade total de carbono sequestrado em relação ao cenário de maximização de mitigação das mudanças climáticas (Tabela 3). O cenário de maximização da mitigação das mudanças climáticas apresenta: (i) o segundo maior custo de restauração, com um acréscimo de aproximadamente 41% em relação ao cenário de minimização de custos de restauração (Tabela 3); e (ii) o segundo pior cenário em termos de maximização da conservação da biodiversidade (Figura 8), com redução de aproximadamente 39% no número estimado de espécies que podem ter extinção evitada em relação ao cenário de maximização da conservação da biodiversidade (Tabela 3).

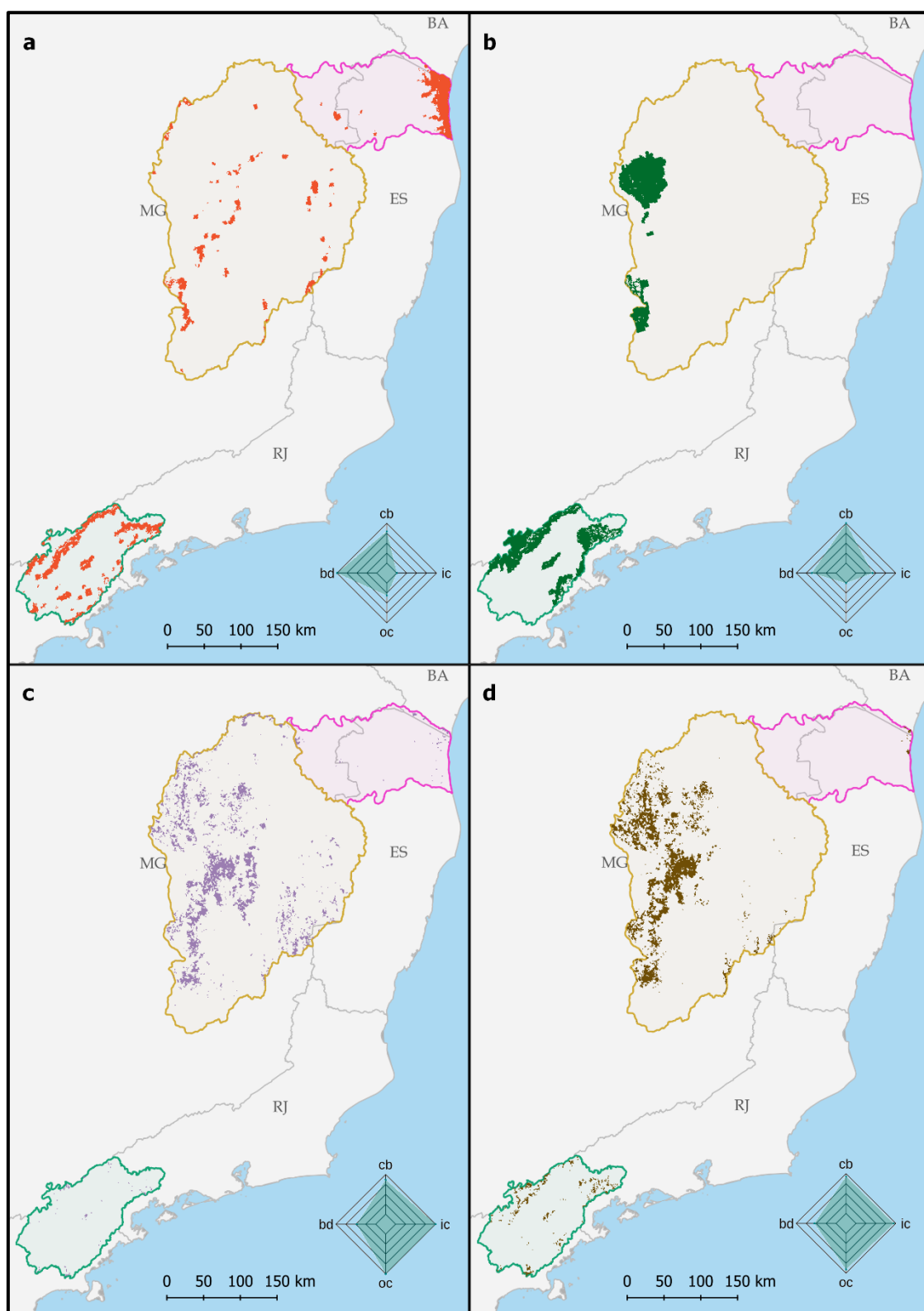


Figura 8. Configurações espaciais e diagramas de radar para os resultados da priorização espacial multicritério da restauração *sem restrição* de áreas a serem restauradas dentro de cada paisagem. Foram utilizados quatro cenários: (a) maximização da conservação da biodiversidade, (b) mitigação das mudanças climáticas, (c) minimização dos custos da restauração (custo de implementação e custo de oportunidade), e (d) cenário multicritério,

ou seja, otimização simultânea de todos os critérios. Os cenários apresentam quantificações para quatro critérios: biodiversidade (bd), carbono (cb), custo de oportunidade (oc) e custo de implementação (ic).

O cenário de minimização de custos de restauração apresenta: (i) o pior cenário em termos de conservação da biodiversidade (Figura 8), com redução de 52% no número de espécies cuja extinção poderia ser evitada em relação ao cenário de maximização da conservação da biodiversidade (Tabela 3); e (ii) o segundo pior cenário em termos de mitigação das mudanças climáticas (Figura 8), com redução de aproximadamente 14% na quantidade total de carbono que poderia ser sequestrado em relação ao cenário de maximização da mitigação das mudanças climáticas (Tabela 3). Por fim, o cenário multicritério teve a segunda melhor performance para quase todos os critérios considerados, com exceção da conservação da biodiversidade (Figura 8), apresentando: (i) decréscimo de 7% na quantidade de carbono sequestrado em relação ao cenário de maximização da mitigação das mudanças climáticas; (ii) decréscimo de 46% no número de espécies que podem ter extinção evitada em relação ao cenário de maximização de conservação da biodiversidade, sendo, portanto, o segundo pior cenário para este critério; e (iii) aumento de aproximadamente 4% no custo total de restauração em relação ao cenário de minimização do custo de restauração (Tabela 3).

Os resultados seguintes foram apresentados para cada paisagem separadamente (Tabela 4). É importante ressaltar que estas paisagens diferem em extensão territorial, débitos ambientais e conjunto potencial de espécies, e, por isso, os valores estão sendo apresentados aqui com o intuito de contextualização regional, e não para serem diretamente comparados entre si em termos de eficiência da priorização.

Tabela 4. Valores referentes ao resultado da priorização espacial da restauração *com restrição* das áreas a serem restauradas dentro de cada paisagem (débito de Reserva Legal). Foram utilizados quatro diferentes cenários: (a) maximização da conservação da biodiversidade; (b) maximização da mitigação das mudanças climáticas; (c) minimização dos custos de restauração, considerando custo de oportunidade da terra e custo de implementação da restauração, e (d) otimização simultânea de todos estes critérios. Os benefícios são apresentados em termos de número de espécies cuja extinção pode ser evitada e quantidade de carbono estocada, enquanto os custos totais para cada paisagem são apresentados em Reais.

Paisagem	Cenários	Critérios				Área restaurada (hectares)
		Biodiversidade (nº de espécies)	Carbono (toneladas)	Custo total de restauração		
				Custo de oportunidade (R\$)	Custo de implementação (R\$)	
Rio Doce/MG	(a)	83,98	39.071.162,50	2.373.372.146,49	2.255.779.954,09	271.916,25
	(b)	50,78	44.578.917,01	2.432.477.062,21	2.138.992.998,25	271.916,25
	(c)	50,11	39.279.288,65	2.062.487.901,09	1.304.246.453,64	271.916,25
	(d)	56,57	42.193.646,92	2.104.539.785,37	1.370.717.868,05	271.916,25
Rios Itaúnas e São Mateus/ES	(a)	44,10	7.926.562,62	594.711.562,21	935.969.867,77	75.702,78
	(b)	5,85	8.970.165,84	654.067.906,36	1.085.418.828,40	75.702,78
	(c)	37,18	7.487.337,77	531.745.123,43	651.134.694,26	75.702,78
	(d)	35,35	7.977.453,11	561.739.921,34	658.236.782,13	75.702,78
Vale do Paraíba/SP	(a)	30,81	12.313.502,95	922.144.395,06	630.689.297,38	76.588,72
	(b)	26,84	13.467.477,00	927.817.417,88	577.667.472,48	76.588,72
	(c)	25,65	12.111.055,66	812.544.473,85	395.839.445,83	76.588,72
	(d)	27,30	12.677.820,98	842.987.260,21	394.242.249,49	76.588,72

Analizando a priorização *com restrição* das áreas a serem restauradas dentro de cada paisagem, a paisagem do Rio Doce/MG é onde seria possível evitar a extinção do maior número de espécies (mínimo de 50 espécies salvas no cenário de minimização de custos de restauração, e máximo de 84 espécies salvas no cenário de maximização da conservação da biodiversidade; Tabela 4). Nesta região também foi identificado o maior potencial para sequestro de carbono (mínimo de 39 milhões de toneladas de CO₂ sequestradas no cenário de maximização da conservação da biodiversidade, e máximo de 45 milhões de toneladas de CO₂ sequestradas no cenário de maximização da mitigação de mudanças climáticas; Tabela 4). No entanto, o maior custo de restauração também foi estimado para esta região (mínimo de R\$ 3,4 bilhões estimado para o cenário de minimização de custos de restauração, e máximo de R\$ 4,6 bilhões, considerando o cenário de maximização da conservação da biodiversidade; Tabela 4).

Na paisagem dos Rios Itaúnas e São Mateus/ES foi identificada a maior variação no número de espécies cuja extinção poderia ser evitada (mínimo de 6 espécies salvas no cenário de maximização da mitigação das mudanças climáticas, e máximo de 44 espécies salvas no cenário de maximização da conservação da biodiversidade; Tabela 4). O potencial para sequestro de carbono nesta paisagem foi o menor de todos (mínimo de aproximadamente 7,5 milhões de toneladas sequestradas no cenário de minimização de custos de restauração, e máximo de 8,9 milhões de toneladas de CO₂ sequestradas no cenário de maximização da mitigação das mudanças climáticas; Tabela 4). Nesta região também foi estimado o menor custo total de restauração (mínimo de R\$ 1,2 bilhão no cenário de minimização de custos de restauração, e máximo de R\$ 1,7 bilhão no cenário de maximização da mitigação das mudanças climáticas; Tabela 4).

A paisagem do Vale do Paraíba/SP apresentou valores intermediários entre as três paisagens com relação a todos os critérios, onde seria possível: evitar a extinção de no mínimo 26 espécies (cenário de minimização dos custos de restauração) e máximo de 31 espécies (cenário de maximização da conservação da biodiversidade); e sequestrar a quantidade mínima de 12,1 milhões de toneladas de CO₂ (cenário de maximização da mitigação das mudanças climáticas) e máxima de 13,4 milhões de toneladas de CO₂ (cenário de maximização da mitigação das mudanças climáticas). O custo de restauração estimado para esta paisagem variou de R\$ 1,2 bilhão (cenário de minimização dos custos de restauração) até R\$ 1,6 bilhão (cenário de maximização da conservação da biodiversidade; Tabela 4). Foi também nesta paisagem que o cenário multicritério apresentou os melhores resultados. Ou seja, a escolha deste cenário para guiar a restauração nesta paisagem possibilitaria a maior otimização dos benefícios em termos de conservação da biodiversidade e sequestro de carbono, com um custo muito similar ao estimado pelo cenário de minimização de custos (Tabela 4).

O exercício de priorização da restauração *sem restrição* de áreas a serem restauradas dentro de cada paisagem revelou algumas possibilidades interessantes de compensação dos débitos (Tabela 5).

Tabela 5. Valores referentes ao resultado da priorização espacial da restauração *sem restrição* das áreas a serem restauradas dentro de cada paisagem. Foram utilizados quatro diferentes cenários: (a) maximização da conservação da biodiversidade; (b) maximização da mitigação das mudanças climáticas; (c) minimização dos custos de restauração, considerando custo de oportunidade da terra e custo de implementação da restauração, e (d) otimização simultânea de todos estes critérios. Os benefícios são apresentados em termos de número de espécies cuja extinção pode ser evitada e quantidade de carbono estocada, enquanto os custos totais para cada paisagem são apresentados em Reais.

Paisagem	Cenários	Critérios				Área restaurada (hectares)
		Biodiversidade (nº de espécies)	Carbono (toneladas)	Custo total de restauração		
				Custo de oportunidade (R\$)	Custo de implementação (R\$)	
Rio Doce/MG	(a)	42,56	17.793.393,51	1.058.781.062,25	953.139.804,99	122.082,39
	(b)	44,23	38.455.335,30	2.097.566.640,61	1.823.337.917,31	233.798,94
	(c)	72,6	59.662.246,95	3.223.298.649,83	2.044.698.092,82	411.353,56
	(d)	78,8	61.873.386,90	3.179.059.966,14	2.092.023.217,60	399.559,71
Rios Itaúnas e São Mateus/ES	(a)	80,84	14.743.426,95	1.201.866.677,07	1.915.747.135,53	153.216,49
	(b)	0	0	0	0	0
	(c)	5,85	862.160,38	60.616.521,05	57.332.034,67	9.228,88
	(d)	4,91	374.971,48	22.683.830,16	32.285.947,70	3.747,83
Vale do Paraíba/SP	(a)	55,35	24.067.254,46	1.801.212.268,34	1.250.291.349,52	149.469,79
	(b)	62,44	32.334.378,62	2.300.096.250,14	1.466.362.558,55	190.956,93
	(c)	1,62	686.742,44	33.601.976,91	18.428.920,42	4.186,23
	(d)	8,16	3.597.390,33	216.005.918,34	99.210.117,55	21.378,70

No cenário de maximização da conservação da biodiversidade, a quantidade total de área indicada para restauração foi relativamente equilibrada entre as três paisagens, mas muito diferente do resultado apresentado na abordagem *com restrição*: há uma redução na quantidade de área indicada para restauração na paisagem do Rio Doce/MG, sendo este valor corresponde a 45% do débito identificado para esta região; houve um aumento das áreas indicadas para restauração nas paisagens do Vale do Paraíba/SP e dos Rios Itaúnas e São Mateus/ES, correspondendo a um acréscimo de 95% e 102%, respectivamente, em relação ao valor de débito identificado para estas paisagens (Tabela 5). Ou seja, parte do débito de RL da paisagem do Rio Doce/MG seria compensada nas outras paisagens trazendo maiores benefícios em termos de conservação da biodiversidade. Com a restauração destas áreas, foi estimado que seria possível evitar a extinção de: (i) 42 espécies na paisagem do Rio Doce/MG (redução de 49% com relação ao valor identificado na abordagem *com restrição*); (ii) 81 espécies na paisagem dos Rios Itaúnas e São Mateus/ES (acrécimo de 83% com relação ao valor identificado na abordagem *com restrição*); e (iii) 55 espécies na paisagem do Vale do Paraíba/SP (redução de 80% com relação ao valor identificado na abordagem *com restrição*).

No cenário de maximização da mitigação das mudanças climáticas, os resultados foram bastante diferentes dos gerados para a abordagem com restrição. Há uma redução de 14% no valor da área total a ser restaurada na paisagem do Rio Doce/MG, um acréscimo de 149% no Vale do Paraíba/SP e uma redução de 100% na paisagem dos Rios Itaúnas e São Mateus/ES, ou seja, nenhuma área seria restaurada nesta paisagem de acordo com este cenário. Desta forma, parte do débito de RL da paisagem do Rio Doce/MG e todo o débito da paisagem dos Rios Itaúnas e São Mateus/ES seriam compensados na paisagem do Vale do Paraíba/SP, o que traria um maior retorno em termos de sequestro de carbono. Com a restauração destas áreas, foi estimado que seria possível sequestrar: (i) 38 milhões de toneladas de CO₂ na paisagem do Rio Doce/MG (redução de 13% com relação ao valor identificado na abordagem *com restrição*); (ii) nenhum carbono na paisagem dos Rios Itaúnas e São Mateus/ES (redução de 100% com relação ao valor identificado na abordagem *com restrição*); e (iii) 2,3 milhões de toneladas de CO₂ na paisagem do Vale do Paraíba/SP (acrécimo de 134% com relação ao valor identificado na abordagem *com restrição*).

No cenário de minimização dos custos de restauração, os resultados foram também bastante distintos dos que foram apresentados na abordagem *com restrição*. Há um acréscimo de 51% na quantidade de área indicada para restauração na paisagem do Rio Doce/MG, e um decréscimo de 88% e 95% nas paisagens dos Rios Itaúnas e São Mateus/ES e Vale do Paraíba/SP, respectivamente. Ou seja, a paisagem que traz o melhor retorno em termos de minimização de custos é a do Rio Doce/MG, e os débitos de RL das outras paisagens seriam compensados nela, de acordo com este cenário. Com a restauração destas áreas, o custo mínimo de restauração estimado foi de: R\$ 5,2 bilhões na paisagem do Rio Doce/MG (acrécimo de 56% com relação ao valor identificado na abordagem *com restrição*); R\$ 117,8 milhões na paisagem dos Rios Itaúnas e São Mateus/ES (redução de 90% com relação ao valor identificado na abordagem *com restrição*); e (iii) R\$ 52 milhões na paisagem do Vale do Paraíba/SP (redução de 96% com relação ao valor identificado na abordagem *com restrição*).

O cenário multicritério também revelou resultados bastante diferentes com relação à abordagem *com restrição*. Neste caso, a paisagem onde este cenário teve a melhor performance foi a do Rio Doce/MG. Há um acréscimo de 47% na quantidade de área

indicada para restauração na paisagem do Rio Doce/MG, e um decréscimo de 95% e 72% nas paisagens dos Rios Itaúnas e São Mateus/ES e Vale do Paraíba/SP, respectivamente. Ou seja, a escolha deste cenário para guiar a restauração *sem restrição* possibilitaria a maior otimização de todos os benefícios simultaneamente nesta paisagem, então os débitos de RL das outras paisagens seriam compensados nela, de acordo com este cenário (Tabela 5).

6. Custos e benefícios econômicos de outras atividades correlatas

Com o objetivo de entender os custos e benefícios de atividades produtivas correlatas à restauração de paisagens, foram levantadas experiências de estudos de caso sobre a implementação de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) na região da Mata Atlântica brasileira. O sistema ILPF é uma estratégia de produção que integra sistemas produtivos agrícolas, pecuários e florestais dentro de uma mesma área. A integração pode ser feita em cultivo consorciado, sucessão ou rotação, desde que haja benefício mútuo para todas as atividades sem perdas de produtividade. Esses sistemas podem auxiliar a restauração de paisagens pois geram impacto ambiental reduzido e podem resultar na melhoria da qualidade do solo, garantindo a qualidade ambiental do local e diminuindo a pressão sobre as áreas nativas (Costa et al. 2017; Rodrigues et al. 2017). Para o produtor, as vantagens incluem a otimização do uso da terra, o aumento da produtividade da propriedade, a diversificação da produção e a geração de produtos de qualidade.

Poucos estudos apresentam uma análise de custo-benefício mostrando a viabilidade econômica e produtiva destes sistemas em pequenas propriedades (até 100 hectare de área). Um dos raros exemplos é o da Rede ILPF, uma parceria público-privada formada pela EMBRAPA, cooperativas e empresas privadas, que possui seis unidades de referências tecnológicas onde sistemas integrados foram implementados e estão sendo monitorados (mais detalhes sobre a Rede ILPF podem ser encontrados em <https://www.embrapa.br/web/rede-ilpf/rede-ilpf>). Foram relatados aumentos de produtividade e lucro para os proprietários, como por exemplo o aumento do lucro em R\$ 0,30/litro de leite produzido. Além da melhoria nos lucros, a diversificação da produção permite minimizar possíveis prejuízos em propriedades com monoculturas ou focadas somente em pastagem. O maior desafio, de acordo com os proprietários, é a necessidade de maior investimento no início da implementação. No entanto, experiências em outras regiões do Brasil, particularmente na região Centro-Oeste, mostram que a cada R\$ 1,00 investido em ILPF pode-se obter até R\$ 3,70 de lucro (EMBRAPA 2019). Em suma, o retorno dos investimentos feitos pelos produtores que adotam sistemas integrados é maior do que daqueles que aplicaram sistemas exclusivos de lavoura ou pecuária.

Quanto aos sistemas de silvicultura com uso de espécies nativas e sistemas agroflorestais (SAF), o estudo mais extensivo sobre custos e benefícios na Mata Atlântica é o projeto VERENA (Valorização Econômica do Reflorestamento com Espécies Nativas), realizado pela WRI (WRI 2019). O projeto VERENA acompanha sete propriedades rurais no bioma Mata Atlântica, sendo quatro destas (três com SAF e uma com silvicultura de nativas) inseridas nos mesmos estados das paisagens analisadas neste relatório. Este projeto mostra que, tanto na silvicultura de nativas quanto no SAF, o tempo médio para o retorno financeiro é de 16 anos, quatro anos a mais do que na agricultura e

silvicultura convencionais, o que pode ser explicado pelo ciclo de colheita mais longo das espécies nativas. Entretanto, o retorno para estes modelos (16%) é maior do que o retorno médio observado para agricultura ou silvicultura com pinus e eucalipto (13%).

Os desafios de implementação comuns aos três sistemas – ILPF, silvicultura com espécies nativas e SAF – incluem: (i) a maioria das experiências existentes foram implementadas em escala local, então ainda existe pouco conhecimento sobre o comportamento destes sistemas em larga escala; (ii) a necessidade de um investimento inicial maior do que em sistemas convencionais; e (iii) a falta de informação econômico-financeira acessível aos produtores, o que leva a uma baixa adoção. As linhas de crédito existentes (ex. Plano ABC) podem ajudar a superar o obstáculo do investimento inicial, um dos principais fatores que dificulta a transição entre sistema convencional e integrado. A falta de dados sobre custos e receitas auferidas antes e depois da implementação de um SAF, ILPF ou silvicultura de nativas ressalta a necessidade de mais estudos sobre estes tópicos, bem como a interação entre proprietários e especialistas. O projeto VERENA, por exemplo, disponibiliza uma ferramenta para simulação de custos e receitas que pode auxiliar técnicos a fazer simulações de acordo com um modelo econômico robusto e fornecer informações para os proprietários (a ferramenta está disponível em <https://wribrasil.org.br/pt/publicacoes/ferramenta-investimento-verena>).

Além destes sistemas, o mercado de créditos de carbono pode oferecer ao produtor uma renda adicional relevante, além de contribuir significativamente para a mitigação das mudanças climáticas. O preço do carbono a US\$ 20 por tonelada, estimularia produtores a restaurar mais de 31 milhões de hectares de florestas no mundo, retirando 5,7 giga toneladas de carbono da atmosfera (Busch et al. 2019).

7. Conclusões e implicações

Neste relatório apresentamos os resultados de uma análise sobre oportunidades de restauração em três paisagens localizadas no bioma Mata Atlântica. Primeiramente, foram quantificados os débitos de APP hídrica e RL nos municípios inseridos nestas paisagens, o que revelou um total de 639.296,84 ha e 424.207,75 ha, respectivamente, que precisariam ser restaurados nas três paisagens. O maior esforço precisaria ser alocado na paisagem do Rio Doce/MG, o que já era esperado devido à maior extensão territorial desta paisagem. Entretanto, se considerarmos a proporção do território (soma das áreas das propriedades) em débito, a paisagem do Vale do Paraíba/SP lidera a demanda proporcional por restauração (área com débito ambiental/área total da paisagem).

Com base nestes valores, foi estimado o custo total da restauração que seria necessária para suprir os débitos ambientais, considerando a variação no custo associado à implementação de diferentes técnicas de restauração. Uma economia de até R\$ 22,4 bilhões poderia ser atingida caso todo este débito ambiental fosse recuperado através de regeneração natural, comparando com o custo estimado para o plantio completo com mudas (investimento total de R\$ 22,6 bilhões). Considerando técnicas de restauração intermediárias, a economia total poderia chegar a R\$ 19,5 bilhões com a condução da regeneração natural, R\$ 15,9 bilhões com adensamento/enriquecimento com sementes e R\$ 9,1 bilhões com adensamento/enriquecimento com mudas. É importante ressaltar, novamente, que a escolha da técnica de restauração a ser utilizada não deve ser baseada

apenas no custo de implementação, pois o sucesso de cada uma depende das características da paisagem e do contexto de degradação local.

A metodologia de priorização espacial para restauração utilizada nesse relatório pode ajudar a identificar as áreas mais custo-efetivas nas três paisagens analisadas. Utilizando essa metodologia, foram identificadas estas áreas considerando duas abordagens - com e sem restrição de área a ser restaurada dentro de cada paisagem - e quatro diferentes cenários, os quais permitiram a identificação de alguns *trade-offs* interessantes entre custos e benefícios da restauração. A decisão sobre qual abordagem considerar para subsidiar a escolha das áreas para restauração depende dos objetivos do projeto. Se o objetivo é que cada paisagem recupere seu débito de RL dentro do seu território, então as áreas devem ser selecionadas considerando a indicação gerada pela abordagem *com restrição*. Entretanto, caso o débito de uma paisagem possa ser compensado em outra, os resultados da abordagem *sem restrição* podem ser utilizados para identificar as melhores áreas para a restauração, havendo inclusive uma melhor otimização dos benefícios gerados (conservação da biodiversidade e mitigação das mudanças climáticas) com diminuição do custo total de restauração.

Com relação aos *trade-offs*, segundo a abordagem *com restrição*, a escolha das áreas prioritárias baseada apenas no cenário de minimização dos custos de restauração levaria ao menor retorno em termos de sequestro de carbono. Já a escolha das áreas baseada apenas no cenário de maximização da mitigação das mudanças climáticas teria os piores resultados em termos de minimização do risco de extinção de espécies. Este resultado mudou um pouco na abordagem *sem restrição*, onde o cenário de minimização de custos da restauração passou a ser o pior em termos de conservação da biodiversidade, e houve uma melhoria nos retornos do cenário de mitigação das mudanças climáticas com relação ao número de espécies cuja extinção poderia ser evitada. Em compensação, o cenário de maximização de conservação da biodiversidade teve uma diminuição na sua performance em termos de quantidade de CO₂ sequestrada da atmosfera. Apesar de existirem algumas diferenças entre os resultados esperados para os cenários específicos em cada paisagem, de forma geral, o cenário multicritério permitiria alcançar benefícios intermediários (próximos ao máximo de cada cenário para maximização da conservação da biodiversidade ou mitigação das mudanças climáticas) com a segunda menor estimativa de custo de restauração em ambas as abordagens.

Por fim, foram apresentadas algumas possibilidades de atividades que podem ser incorporadas a projetos de restauração nessas paisagens – como a ILPF, SAF e silvicultura de nativas – trazendo uma visão geral dos custos e benefícios associados a estas atividades a partir da experiência de projetos anteriores. De forma geral, os três tipos de sistemas necessitam de um maior investimento inicial comparado aos sistemas convencionais, porém retornam maior lucro a longo prazo, o que pode otimizar os benefícios econômicos gerados pela restauração. As estimativas apresentadas neste relatório, aliadas à discussão sobre os *trade-offs* entre os diferentes produtos da restauração e os custos econômicos associados a estes, bem como os mapas de áreas prioritárias identificadas para cada cenário, poderão ser utilizados para guiar a escolha das áreas a serem restauradas em cada uma das três paisagens, possibilitando maior eficiência tanto do ponto de vista ecológico quanto econômico.

8. Referências

- AGRIANUAL (2015). Anuário da Agricultura Brasileira. São Paulo: Informa Economics IEG/FNP, 472 pp.
- Busch, J., Engelmann, J., Cook-Patton, S.C., Griscom, B.W., Kroeger, T., Possingham, H. & Shyamsundar, P. (2019). Potential for low-cost carbon dioxide removal through tropical reforestation. *Nature Climate Change*, 9, 463-466.
- Chazdon, R.L., Brancalion, P.H., Lamb, D., Laestadius, L., Calmon, M., & Kumar, C. (2017). A policy-driven knowledge agenda for global forest and landscape restoration. *Conservation Letters*, 10, 125-132.
- Costa, M.P., Schoeneboom, J.C., Oliveira, S.A., Vinas, R.S. & Medeiros, G.A. (2018). A socio-eco-efficiency analysis of integrated and non-integrated crop-livestock-forestry systems in the Brazilian Cerrado based on LCA. *Journal of cleaner production*, 171, 1460-1471.
- Crouzeilles, R., Beyer, H.L., Mills, M., Grelle, C.E.V. & Possingham, H.P. (2015). Incorporating habitat availability into systematic planning for restoration: a species-specific approach for Atlantic Forest mammals. *Diversity and Distributions*, 21, 1027-1037.
- Crouzeilles, R., Ferreira, M.S., Chazdon, R.L., Lindenmayer, D.B., Sansevero, J.B., Monteiro, L., Iribarrem, A., Latawiec, A.E. & Strassburg, B.B. (2017). Ecological restoration success is higher for natural regeneration than for active restoration in tropical forests. *Science Advances*, 3, e1701345.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2019). Resultados de avaliação econômica destacam a importância do planejamento na ILPF. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/31904477/resultados-de-avaliacao-economica-destacam-a-importancia-do-planejamento-na-ilpf> (acesso em: 07 ago 2019)
- FBDS - Fundação Brasileira para Desenvolvimento Sustentável (2018). Mapeamento em alta Resolução dos Biomas Brasileiros. Disponível em: <http://geo.fbds.org.br/> (acesso em: 04 mar 2019)
- Freitas, F.L.M., Guidotti, V., Sparovek, G. & Hamamura, C. (2018). Nota técnica: Malha fundiária do Brasil, v.1812. Em: Atlas - A Geografia da Agropecuária Brasileira. Disponível em: <http://www.imaflora.org/atlasagropecuario> (acesso em: 04 mar 2019)
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2019). Censo Agropecuário 2017: Resultados definitivos. *Censo agropecuário*, 8, 1-105. Disponível em: <https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/resultados-censo-agro-2017.html> (acesso em: 07 ago 2019)
- Jakovac, C.C., Peña-Claros, M., Kuyper, T.W. & Bongers, F. (2015). Loss of secondary-forest resilience by land-use intensification in the Amazon. *Journal of Ecology*, 103, 67-77.

- Latawiec, A.E., Strassburg, B.B., Brancalion, P.H., Rodrigues, R.R. & Gardner, T. (2015). Creating space for large-scale restoration in tropical agricultural landscapes. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 13, 211-218.
- MAPBIOMAS (2018). Coleções MapBiomass. Disponível em http://mapbiomas.org/pages/database/mapbiomas_collection (acesso 04 mar 2019)
- MMA - Ministério do Meio Ambiente (2017). Potencial de Regeneração Natural da Vegetação no Brasil. World Resources Institute: Brasil, Brasília.
- Poorter, L., Bongers, F., Aide, T.M., Zambrano, A.M.A., Balvanera, P., Becknell, J.M., Boukili, V., Brancalion, P.H.S., Broadbent, E.N., Chazdon, R.L., Craven, D., Almeida-Cortez, J.S., Cabral, G.A.L., Jong, B.H.J., Denslow, J.S., Dent, D.H., DeWalt, S.J., Dupuy, J.M., Durán, S.M., Espírito-Santo, M.M., Fandino, M.C., César, R.G., Hall, J.S., Hernandez-Stefanoni, J.L., Jakovac, C.C., Junqueira, A.B., Kennard, D., Letcher, S.G., Licona, J.C., Lohbeck, M., Marín-Spiotta, E., Martínez-Ramos, M., Massoca, P., Meave, J.A., Mesquita, R., Mora, F., Muñoz, R., Muscarella, R., Nunes, Y.R.F., Ochoa-Gaona, S., Oliveira, A.A., Orihuela-Belmonte, E., Peña-Claros, M., Pérez-García, E.A., Piotta, D., Powers, J.S., Rodríguez-Velázquez, J., Romero-Pérez, I.E., Ruíz, J., Saldarriaga, J.G., Sanchez-Azofeifa, A., Schwartz, N.B., Steininger, M.K., Swenson, N.G., Toledo, M., Uriarte, M., van Breugel, M., van der Wal, H., Veloso, M.D.M., Vester, H.F.M., Vicentini, A., Vieira, I.C.G., Bentos, T.V., Williamson, G.B. & Rozendaal, D.M.A. (2016). Biomass resilience of Neotropical secondary forests. *Nature*, 530, 211-214.
- Rodrigues, G.S., Oliveira, P., Novaes, R.M.L., Pereira, S.E.M., Nicodemo, M.L.F., Sena, A.L.S., Belchior, E.B., Almeida, M.R.M., Santi, A. & Wruck, F.J. (2017). Avaliação de impactos ambientais de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta conforme contexto de adoção. *Documentos/Embrapa Meio Ambiente (INFOTECA-E)*, 38pp.
- Senado Federal do Brasil (2011). Em discussão. *Revista de Audiências Públicas do Senado Federal*, Ano 2 (9), dezembro de 2011.
- Shono, K., Cadaweng, E.A. & Durst, P.B. (2007). Application of assisted natural regeneration to restore degraded tropical forestlands. *Restoration Ecology*, 15, 620-626.
- Strassburg, B.B., Beyer, H.L., Crouzeilles, R., Iribarrem, A., Barros, F., de Siqueira, M.F., Sánchez-Tapia, A., Balmford, A., Sansevero, J.B.B., Brancalion, P.H.S. & Broadbent, E.N. (2019). Strategic approaches to restoring ecosystems can triple conservation gains and halve costs. *Nature Ecology & Evolution*, 3, 62-70.
- TNC - The Nature Conservancy (2017). Economia da restauração florestal. São Paulo: TNC. Disponível em: <https://www.nature.org/media/brasil/economia-da-restauracao-florestal-brasil.pdf> (acesso em 04 março 2019)
- WRI - World Resources Institute (2019). Projeto VERENA. Disponível em: <https://wribrasil.org.br/pt/our-work/projects/projeto-verena> (acesso em 06 ago 2019)
- Zahawi, R.A., Reid, J.L. & Holl, K.D. (2014). Hidden costs of passive restoration. *Restoration Ecology*, 22, 284-287.