



O Nexo Floresta-Clima: Uma Arquitetura Sob Medida para a Ação Climática

Outubro 2025



CLIMATE
POLICY
INITIATIVE



Autoria

Juliano Assunção

Diretor Executivo, CPI/PUC-Rio

juliano.assuncao@cpiglobal.org

João Pedro Arbache

Pesquisador Sênior, CPI/PUC-Rio

Joana Chiavari

Diretora de Pesquisa, CPI/PUC-Rio

Giovanna de Miranda

Gerente de Comunicação e Programa, CPI/PUC-Rio

Gabriela Zangiski

Pesquisadora Sênior, CPI/PUC-Rio

Agradecimentos

O conteúdo deste documento foi discutido no contexto de um conselho independente convocado pelo presidente designado da COP30, embaixador André Corrêa do Lago, para informar sobre algumas dimensões econômicas da COP30, incluindo contribuições para o “Roteiro de Baku a Belém para 1,3 T”, a ser apresentado pelo presidente da COP29 e pelo presidente designado da COP30, e para a Agenda de Ação da COP30.

Este relatório se beneficiou de importantes comentários e feedback de representantes do Ministério do Meio Ambiente e Mudanças Climáticas (MMA), do Ministério das Relações Exteriores (MRE) e do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES).

Este trabalho é financiado por *Norway’s International Climate and Forest Initiative* (NICFI), *Climate and Land Use Alliance* (CLUA) e Fundação Porticus. Nossos parceiros e financiadores não necessariamente compartilham das posições expressas nesta publicação.

Os autores gostariam de agradecer a Natalie Hoover, Barbara Buchner, Vikram Widge, Cristina Leme Lopes, Beto Veríssimo e ao grupo do Amazônia 2030 pelos comentários e sugestões. Também agradecem a Natalie Hoover e Camila Calado pela edição e revisão do texto, e a Meyrele Nascimento e Nina Oswald Vieira pela formatação e design gráfico.

Sobre o Climate Policy Initiative

O Climate Policy Initiative (CPI) é uma organização com experiência internacional em análise de políticas públicas e finanças, que possui sete escritórios ao redor do mundo. No Brasil, é afiliado à Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio) e atua no aprimoramento de políticas públicas e finanças sustentáveis a fim de promover a transição para uma economia de baixo carbono. O CPI/PUC-Rio desenvolve análises baseadas em evidência e estabelece parcerias estratégicas com membros do governo, da sociedade civil, do setor privado e de instituições financeiras.

Citação sugerida

Assunção, Juliano, João Pedro Arbache, Joana Chiavari, Giovanna de Miranda e Gabriela Zangiski. *O Nexo Floresta-Clima: Uma Arquitetura Sob Medida para a Ação Climática*. Rio de Janeiro: Climate Policy Initiative, 2025. bit.ly/NexoFlorestaClima.

Contato

contato.brasil@cpiglobal.org



Lista de Siglas

APP Área de Preservação Permanente

CO₂ Dióxido de carbono

CO₂e Dióxido de carbono equivalente

CPI/PUC-Rio Climate Policy Initiative/Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

Deter Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real

DPI Infraestrutura Pública Digital (*Digital Public Infrastructure*)

EU ETS Sistema de Comércio de Emissões da União Europeia (*European Union Emissions Trading System*)

FSC Conselho de Manejo Florestal (*Forest Stewardship Council*)

GEEs Gases de efeito estufa

GFW *Global Forest Watch*

GST Balanço Global (*Global Stocktake*)

ITMO Resultados de Mitigação Transferidos Internacionalmente (*Internationally Transferable Mitigation Outcome*)

JREDD+ REDD+ Jurisdicional

NDCs Contribuições Nacionalmente Determinadas (*Nationally Determined Contribution*)

NPFE Domínio florestal não permanente (*Non-permanent Forest Estate*)

ODS Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

PSA Pagamento por Serviços Ambientais

PFE Domínio Florestal Permanente (*Permanent Forest Estate*)

PIB Produto Interno Bruto

PPCDAm Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal

RDM Mecanismo de Reversão de Desmatamento (*Reverse Deforestation Mechanism*)

REDD+ Redução das Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal

Semad/GO Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Goiás

TFFF Fundo Florestas Tropicais para Sempre (*Tropical Forest Forever Facility*)

UNEP *United Nations Environment Program*

VP Valor Presente

Lista de Figuras

Figura SE1. Países com Florestas Tropicais, 2023	4
Figura SE2. Conjunto de Instrumentos de Política Pública com Impacto em Floresta	5
Figura SE3. Comparação do financiamento florestal: JREDD+, TFFF e RDM	7
Figura 1. Áreas de Floresta Tropical em 2023 e Áreas Desmatadas entre 2001 e 2023	22
Figura 2. Os 20 Países com a Maior Área de Floresta Tropical, 2023	23
Figura 3. Os 20 Países com Maior Estoque de Carbono, 2023	24
Figura 4. Os 20 Países com Maior Desmatamento de Florestas Tropicais, 2001-2023	25
Figura 5. Os 20 Países com o Maior Potencial de Captura de GtCO ₂ de Áreas Desmatadas entre 2001 e 2023	26
Figura 6. Agrupamentos de Países com Florestas Tropicais	28
Figura 7. Cobertura Florestal Tropical e PIB per capita, 2023	32
Figura 8. Cobertura Florestal Tropical e Crescimento do PIB, 2023	33
Figura 9. Conjunto de Instrumentos com Impacto em Floresta	37
Figura 10. Comparação do Financiamento Florestal: JREDD+, TFFF e RDM	48
Figura 11. Parâmetros de Sequestro de Carbono e Heterogeneidade da Produtividade Agropecuária para a Amazônia Brasileira	49
Figura 12. Simulação dos Impactos Potenciais do RDM na Restauração Florestal e no Potencial de Captura de Carbono	51
Figura 13. Simulação do Potencial Anual de Captura de Carbono do RDM	52
Figura 14. Os 20 Países com o Maior Valor Presente do RDM por Hectare	54
Figura 15. Simulação do Potencial de Receita do JREDD+, TFFF e RDM nos 20 Principais Países com Florestas Tropicais	60
Figura A1. Valor Presente do RDM por Hectare para Países com Florestas Tropicais	67
Figura A2. Simulação do Potencial de Receita de JREDD+, TFFF e RDM em Países com Florestas Tropicais	71

Índice

Sumário Executivo	1
A Relação entre as Florestas e a Agenda Climática	2
Países com Florestas Tropicais: Desafios e Oportunidades	3
Conjunto de Instrumentos de Política Pública com Impacto em Floresta: Eficácia e Riscos Políticos	5
O Mecanismo de Reversão do Desmatamento	6
Introdução	10
O Nexo Floresta-Clima	13
A Dinâmica do carbono: de Emissores a Sumidouros Líquidos	13
Biodiversidade: Florestas Tropicais como Pontos Críticos Globais	14
Regulação da Água e do Clima: as Florestas como Estabilizadoras do Clima	15
Benefícios Sociais e de Desenvolvimento: Florestas e o Bem-estar Humano	16
Florestas e Adaptação	17
O Nexo Floresta-Clima	18
Países com Florestas Tropicais: Desafios e Oportunidades	20
A Escala da Agenda Florestal	21
A Diversidade da Agenda Florestal	27
Florestas e o Desenvolvimento Econômico	31
Traçando uma Estratégia Diferenciada para Florestas e Clima	34
Conjunto de Instrumentos de Política Pública com Impacto em Floresta: Eficácia e Riscos Políticos	36
Panorama dos Instrumentos de Políticas Públicas e Evidências de Efetividade	37
Condições Favoráveis: Direitos sobre a Terra Bem Definidos e Seguros	43
Riscos Políticos	44
O Mecanismo de Reversão do Desmatamento (RDM)	46
O Mecanismo	47
Simulando o Impacto do RDM para a Amazônia Brasileira	49
Simulação do Potencial do RDM	50
Requisitos de Implementação	55
Simulação das Receitas do JREDD+, TFFF e RDM em Países com Florestas Tropicais	59
Construindo uma Arquitetura Financeira sob Medida para as Florestas	64
Anexo	67
Referências	74



Sumário Executivo

Os esforços globais para combater as mudanças climáticas são insuficientes. Apesar de anos de negociações e compromissos internacionais, as emissões seguem crescendo, e o processo de transição para uma economia de baixo carbono permanece desigual e limitado. As políticas e iniciativas atuais têm se mostrado ineficazes para reduzir as emissões e têm contribuído para a intensificação dos impactos climáticos, deixando os ecossistemas, as comunidades e as economias cada vez mais vulneráveis. A necessidade de medidas urgentes, ambiciosas e coordenadas nunca foi tão grande, pois a janela de tempo para evitar impactos climáticos irreversíveis está se esgotando.

Nesse contexto, ampliar a captura de carbono tornou-se cada vez mais importante e as florestas tropicais se destacam como uma das soluções mais poderosas, imediatas e econômicas. A restauração florestal pode proporcionar amplo sequestro de carbono a um custo relativamente baixo, ao mesmo tempo em que protege a biodiversidade, regula os ciclos hídricos e apoia os meios de subsistência rural.

No entanto, apesar de seu imenso potencial para a agenda climática, devido ao desmatamento contínuo, as florestas tropicais são frequentemente consideradas um risco climático ao invés de reconhecidas como solução. Interromper efetivamente o desmatamento, conservar as florestas existentes e restaurar terras degradadas pode transformar essa percepção, criando um ciclo de retroalimentação positivo entre a ação climática e a saúde das florestas. Além disso, uma melhor gestão das florestas pode desempenhar um papel importante na mitigação climática, as receitas provenientes de serviços relacionados ao clima podem ser investidas para a restauração e a proteção dos ecossistemas tropicais, fortalecendo a resiliência das florestas e reduzindo o risco de ultrapassar pontos críticos de não retorno.

Neste relatório, **pesquisadores do Climate Policy Initiative/Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (CPI/PUC-Rio) estabelecem o nexos floresta-clima, destacando a profunda interdependência entre as florestas tropicais e a agenda climática.** Ao analisar 91 países com florestas tropicais, este relatório documenta a variedade de desafios existentes, destacando a necessidade de adoção de abordagens diferenciadas e flexíveis e identifica uma oportunidade estratégica para a restauração florestal. Embora os instrumentos de políticas públicas existentes ofereçam soluções para proteger as florestas e promover a restauração, eles são frequentemente suscetíveis aos ciclos políticos, o que evidencia a necessidade de fornecer incentivos estáveis para que os países protejam suas florestas tropicais. **Este relatório apresenta uma arquitetura financeira sob medida, adaptada às diferentes realidades das florestas tropicais no mundo, e propõe o Mecanismo de Reversão de Desmatamento (*Reversing Deforestation Mechanism - RDM*) para suprir uma lacuna crítica de financiamento ao impulsionar a restauração em larga escala, transformando o papel das florestas — de risco para solução climática.**

Ao integrar abordagens jurisdicionais e baseadas em resultados, o RDM preenche a atual lacuna de financiamento para restauração em escala e complementa os esforços já existentes para conter o desmatamento e proteger as florestas, como o REDD+ jurisdicional (JREDD+) e o Fundo Florestas Tropicais para Sempre (*Tropical Forest Forever Facility* - TFFF).

Enquanto o mundo se prepara para a COP30, em Belém, este relatório traz uma mensagem clara: **as florestas tropicais devem se tornar o centro das estratégias climáticas. As florestas não são somente vulneráveis às mudanças climáticas, mas indispensáveis para resolvê-las.** Com políticas personalizadas, financiamento robusto e compromisso político de longo prazo, elas podem proporcionar a mitigação climática, a proteção da biodiversidade e o desenvolvimento sustentável em uma escala que poucas outras soluções podem igualar. A crise climática exige urgência: ações decisivas podem transformar as florestas tropicais em ativos climáticos duradouros. Enquanto a ação for adiada, corre-se o risco de desperdiçar uma oportunidade única de garantir a estabilidade climática e ecológica.

A Relação entre as Florestas e a Agenda Climática

O nexso floresta-clima evidencia o papel duplo das florestas tropicais tanto na regulação do clima quanto na provisão de soluções climáticas. As florestas tropicais não apenas armazenam imensos estoques de carbono, mas também influenciam os padrões de precipitação através da evapotranspiração, regulam os ciclos hidrológicos, auxiliam na manutenção da biodiversidade e sustentam mais de um bilhão de pessoas. Além disso, desempenham um papel importante ao apoiar espécies, comunidades e países na adaptação às mudanças climáticas.

Em contrapartida, o desmatamento e a degradação florestal aumentam as emissões e comprometem ecossistemas e meios de subsistência. As florestas enfrentam vulnerabilidades crescentes devido ao aumento da temperatura, alterações nos padrões de precipitação, secas prolongadas e incêndios florestais mais frequentes. Essa dinâmica bidirecional significa que, de um lado, a perda de florestas acelera as mudanças climáticas e, de outro, as mudanças climáticas prejudicam a resiliência das florestas.

Proteger e restaurar as florestas constitui, portanto, uma das opções mais escaláveis, imediatas e politicamente viáveis para a mitigação das mudanças climáticas. As políticas públicas e o financiamento climático desempenham um papel central na implementação do nexso floresta-clima, ao reforçar a proteção das florestas e promover a restauração.

Países com Florestas Tropicais: Desafios e Oportunidades

Tendo como base informações obtidas por satélite, este relatório analisa as florestas tropicais em 91 países, avaliando a cobertura florestal, as tendências de desmatamento e as oportunidades de restauração. A Figura SE1 mostra como esses países possuem, juntos, 1,27 bilhão de hectares de florestas tropicais e armazenam 593 gigatoneladas de CO₂ equivalente (GtCO₂e), o que corresponde a aproximadamente 1/3 das emissões históricas mundiais. Na última década, contudo, esses países perderam, na média, mais de 10 milhões de ha por ano. Os fatores que causam o desmatamento são variados, incluindo a agropecuária, a extração de lenha, a exploração ilegal de madeira e atividades econômicas ilícitas.

Embora o desmatamento afete de modo significativo os esforços de mitigação climática, a restauração de áreas desmatadas desde 2001 pode recuperar até 49 GtCO₂. Para efeito de comparação, em 2024, o orçamento de carbono remanescente foi estimado em 900 GtCO₂e para limitar o aquecimento global a menos de 2 °C e em 200 GtCO₂e para manter abaixo de 1,5 °C, de acordo com o relatório de emissões da UNEP (2024).

Este relatório reconhece que a realidade dos países varia substancialmente e os classifica em três grupos com base na cobertura florestal, nas taxas de desmatamento e no potencial de carbono:

- Alta Cobertura Florestal, Baixo Desmatamento, Baixo Potencial de Carbono
- Baixa Cobertura Florestal, Alto Desmatamento, Baixo Potencial de Carbono
- Alta Cobertura Florestal, Alto Desmatamento, Alto Potencial de Carbono

Este exercício de classificação reforça a importância de entender a natureza e a dimensão dos desafios enfrentados por cada país, além de destacar a necessidade de adotar estratégias flexíveis e adaptadas a cada realidade, que combinem ações e investimentos para enfrentá-los de forma eficaz.

Mesmo investigando contextos florestais e condições socioeconômicas distintas nos 91 países, pesquisadores observaram que o desmatamento não está diretamente relacionado ao desenvolvimento econômico. O estudo mostra que nem a floresta em pé nem as taxas de desmatamento têm relação direta com a renda per capita dos países. Dessa forma, é possível concluir que o desmatamento não é condição necessária para o crescimento econômico e, ao mesmo tempo, que a proteção e a restauração das florestas não impedem o desenvolvimento socioeconômico.

Conjunto de Instrumentos de Política Pública com Impacto em Floresta: Eficácia e Riscos Políticos

Para que as florestas sejam efetivamente parte da solução climática, são necessárias políticas públicas robustas. Como mostra a Figura SE2, existe um conjunto eficaz de medidas regulatórias, incentivos econômicos e subsídios para reduzir o desmatamento e promover a restauração em contextos tropicais. Os principais instrumentos incluem regulamentações sobre áreas protegidas, proteção de espécies ameaçadas ou em risco, uso da terra e proteção da vegetação nativa, monitoramento, fiscalização e sanção, assim como mecanismos para Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA), subsídios agrícolas, concessão de crédito rural subsidiado e incentivos comerciais e de mercado. As evidências deste estudo indicam que essas intervenções são mais eficazes quando adaptadas aos contextos sociais, políticos e econômicos locais e estrategicamente combinadas.

Figura SE2. Conjunto de Instrumentos de Política Pública com Impacto em Floresta

INSTRUMENTOS REGULATÓRIOS

- Estabelecimento e Gestão de Áreas Protegidas
- Proteção de Espécies Ameaçadas ou em Risco
- Uso da Terra e Proteção da Vegetação Nativa
- Monitoramento, Fiscalização e Sanção

INCENTIVOS ECONÔMICOS E SUBSÍDIOS

- Pagamento por Serviços Ambientais
- Subsídios à Produtividade Agrícola
- Crédito Rural Subsidiado
- Incentivos Comerciais e de Mercado

O sucesso das políticas florestais depende de condições favoráveis à sua implementação, incluindo a definição clara de direitos sobre a terra, a articulação entre políticas setoriais, arranjos institucionais coordenados, processos decisórios responsáveis e implementação consistente.

Os ciclos políticos são um fator recorrente de instabilidade, já que o desmatamento tende a aumentar ou diminuir conforme as mudanças nas prioridades de governo. Por isso, as políticas devem ser concebidas não apenas com base na eficácia técnica, mas também para resistir às oscilações do ambiente político. A construção dessa resiliência envolve medidas como o fortalecimento de marcos legais, a incorporação da fiscalização em instituições independentes e o alinhamento de incentivos econômicos à gestão florestal de longo prazo.

A principal lição é que a efetividade das políticas florestais depende não apenas do seu desenho, mas também de condições que assegurem sua continuidade ao longo do tempo. Nesse sentido, uma arquitetura financeira sob medida pode oferecer incentivos duradouros para países com florestas tropicais.

O Mecanismo de Reversão do Desmatamento

Este relatório propõe uma arquitetura financeira sob medida, capaz de criar incentivos para a proteção e restauração eficazes das florestas, atendendo às necessidades específicas de cada país. Pesquisadores do CPI/PUC-Rio apresentam o **RDM**, destinado a preencher a lacuna de financiamento para florestas e promover a restauração.

O JREDD+, embora possibilite a restauração florestal, tem sido utilizado principalmente para deter o desmatamento. Já o recém-proposto TFFF, apesar de recompensar financeiramente as florestas restauradas, concentra-se principalmente em preservar as florestas existentes.

O RDM é proposto como mecanismo complementar ao JREDD+ e ao TFFF, recompensando as remoções líquidas de carbono — ou seja, o CO₂ capturado pela restauração, deduzidas as emissões do desmatamento e da degradação — em nível jurisdicional. Os pagamentos seriam baseados em resultados, vinculados à verificação anual de desempenho e administrados por fundos jurisdicionais específicos, garantindo que os recursos sejam reinvestidos na proteção florestal e no uso sustentável da terra. A Figura SE3 apresenta uma comparação entre esses três mecanismos complementares.

Figura SE3. Comparação do financiamento florestal: JREDD+, TFFF e RDM

	JREDD+	TFFF	RDM
Objeto	Créditos de carbono provenientes do desmatamento evitado	Hectares de florestas em pé	Créditos provenientes da captura de carbono pela restauração florestal
Âmbito	Jurisdicional	Jurisdicional	Jurisdicional
Pagamentos	Baseados em resultados	Baseados em resultados	Baseados em resultados
Incentivos	Os créditos são pagos consoante uma linha de base, geralmente calculada a partir das taxas de desmatamento anteriores	Cada hectare desmatado implica o cancelamento do pagamento de 100 hectares	Os créditos são calculados em termos líquidos — o carbono proveniente da restauração florestal é subtraído das emissões decorrentes do desmatamento
Escala potencial	10 milhões de hectares de desmatamento anual	1,27 bilhão de hectares de florestas tropicais	186 milhões de hectares desmatados entre 2001 e 2023
Impacto potencial do carbono	3,77 GtCO ₂ perdidos anualmente	593 GtCO ₂ armazenados em florestas tropicais em 2023	49 GtCO ₂ de potencial de captura de carbono em áreas desmatadas entre 2001 e 2023, caso o processo seja totalmente revertido
Receitas potenciais	Até US\$ 32 bilhões se todo o desmatamento for interrompido	Cerca de US\$ 5 bilhões por ano a US\$ 4 por hectare de floresta	Até US\$ 100 bilhões se implementado com o valor de US\$ 50 por tonelada de CO ₂

Fonte: CPI/PUC-Rio, 2025

Estimativas indicam que, a um preço de carbono de US\$ 50 por tonelada, o RDM poderia gerar receitas com valor presente (VP) descontado superiores a US\$ 5.000 por hectare para 170 milhões de hectares em todo o mundo. As florestas restauradas poderiam, em média, remover até 2 GtCO₂ por ano nos primeiros anos de operação, o que representa entre 11% e 13% da lacuna de emissões para limitar o aquecimento a 2,0 °C até 2035 (UNEP 2024). A US\$ 50 por tonelada, isso representa aproximadamente US\$ 100 bilhões em receitas anuais, destacando a importância climática e a oportunidade financeira da restauração em larga escala. **Ao vincular o financiamento climático diretamente a resultados verificados de carbono, o RDM oferece um caminho escalável e transparente para transformar florestas tropicais em ativos climáticos de alto impacto.**

Para alcançar todo o potencial do RDM, é necessário um conjunto de requisitos de implementação que assegurem a integridade ambiental, a viabilidade financeira e o impacto a longo prazo. A implementação da restauração em larga escala através de abordagens jurisdicionais oferece uma forma de maximizar os benefícios climáticos e ecológicos, ao mesmo tempo que permite fiscalização e monitoramento mais eficientes. Ao focar em jurisdições inteiras, em vez de projetos isolados, os esforços de restauração se beneficiam de menor fragmentação, de maior permanência do carbono e das economias de escala na fiscalização. Para essa estratégia, é central uma estrutura robusta de contabilização de carbono que vincule os pagamentos aos resultados líquidos de carbono, combinando capturas advindas da regeneração com penalidades pelas emissões de GEE decorrentes do desmatamento e da degradação. Isso assegura a integridade ambiental e alinha os incentivos entre todos os *stakeholders*.

Para ampliar e sustentar esses esforços, a viabilidade financeira de longo prazo é fundamental. Os mercados internacionais regulamentados de carbono — viabilizados pelo Artigo 6 do Acordo de Paris — podem fornecer a demanda e a previsibilidade necessárias, oferecendo mitigação efetiva para países de alta renda, ao mesmo tempo em que direcionam financiamento baseado em resultados para jurisdições tropicais. As salvaguardas de permanência do RDM, como pagamentos futuros de um fundo jurisdicional específico ou empréstimos perdoáveis, auxiliam na proteção de florestas restauradas ao longo do tempo. A flexibilidade no uso dos recursos permite o alinhamento com as prioridades locais, enquanto o setor privado pode aprimorar a entrega, a inovação e o desenvolvimento de cadeias de valor sustentáveis baseadas na floresta. Juntos, esses elementos estruturam uma arquitetura sólida e coerente para desbloquear todo o potencial climático e de desenvolvimento da restauração das florestas tropicais.



Introdução

Os esforços internacionais para mitigar as mudanças climáticas continuam inadequados e insuficientes. Apesar dos compromissos estabelecidos no Acordo de Paris, as emissões globais de gases de efeito estufa (GEE) aumentaram de 49 gigatoneladas de CO₂ equivalente (GtCO₂e) em 2015 para 53 GtCO₂e em 2023, afastando ainda mais o mundo das metas de 1,5 °C e 2,0 °C. As atuais Contribuições Nacionalmente Determinadas (*Nationally Determined Contribution* - NDCs) levariam a um aumento de temperatura de 2,6 °C a 2,8 °C (UNEP 2024). Estimativas recentes sugerem que, cada 1 °C adicional de aquecimento poderia reduzir o Produto Interno Bruto (PIB) global em cerca de 12% (Bilal e Känzig 2024). Esses riscos são exacerbados pelo fato de que a transição para uma economia de baixo carbono continua lenta e politicamente conturbada.

Nesse contexto, ampliar a captura de carbono tornou-se uma prioridade, e as florestas tropicais oferecem uma das ferramentas mais poderosas disponíveis. **A restauração florestal pode proporcionar o sequestro de carbono em larga escala, de forma econômica e politicamente viável, ao mesmo tempo em que promove uma estabilidade ecológica mais ampla.** Hoje, porém, as florestas tropicais são frequentemente percebidas mais como uma ameaça, devido às suas vastas reservas de carbono e ao desmatamento persistente, do que como uma solução climática. Interromper o desmatamento, proteger as florestas remanescentes e restaurar áreas degradadas poderia mudar drasticamente essa equação.

O fortalecimento do nexso floresta-clima oferece uma oportunidade recíproca: as florestas podem contribuir significativamente para a mitigação por meio da captura de carbono em larga escala, enquanto as receitas dos créditos de carbono podem fornecer recursos financeiros essenciais para os países com florestas tropicais. No entanto, as florestas enfrentam uma pressão crescente dos pontos de não retorno e dos desafios de governança nos países em desenvolvimento, onde demandas sociais concorrentes e capacidade institucional limitada restringem a implementação eficaz de políticas públicas. Embora existam vários mecanismos financeiros para a conservação e a restauração florestal, a mobilização de fundos na escala necessária continua sendo uma barreira crítica.

Neste relatório, pesquisadores do Climate Policy Initiative/Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (CPI/PUC-Rio) examinam o nexso floresta-clima em 91 países com florestas tropicais. O relatório destaca a diversidade dos contextos nacionais e os desafios e as oportunidades enfrentados pela agenda florestal, enfatizando a necessidade de soluções financeiras personalizadas, lideradas pelos países, para apoiar o manejo florestal eficaz e a restauração em escala.

O primeiro capítulo estabelece onexo entre florestas e clima e ressalta a importância global das florestas tropicais. O segundo capítulo investiga a cobertura florestal, os padrões de desmatamento e o potencial de restauração, agrupando os países com florestas tropicais em três categorias distintas, que refletem a diversidade entre eles e a escala dos desafios e das oportunidades, ilustrando por que é essencial adotar uma abordagem flexível e específica para cada contexto. O terceiro capítulo analisa os instrumentos de política pública com impacto em floresta e as condições que possibilitam sua implementação, mostrando que, embora existam estruturas eficazes, elas estão frequentemente expostas a riscos políticos.

O capítulo final propõe uma arquitetura financeira sob medida, fundamentada em abordagens jurisdicionais e no financiamento baseado em resultados, para integrar melhor as florestas tropicais às estratégias climáticas globais, considerando as diversas realidades nacionais. **O CPI/PUC-Rio apresenta ainda um novo mecanismo para a restauração florestal, desenvolvido com intuito de complementar os instrumentos já existentes: o Mecanismo de Reversão de Desmatamento (RDM).**

À medida que a comunidade global se prepara para a COP30 em Belém, este relatório apresenta um argumento claro: **as florestas tropicais não devem mais ser tratadas como periféricas no planejamento climático.** Elas representam uma das ferramentas mais eficazes, imediatas e poderosas disponíveis para enfrentar a crise climática.



O Nexo Floresta-Clima

As florestas tropicais estão no centro das questões climáticas, atuando simultaneamente como reguladoras de carbono, da biodiversidade e do regime hídrico. Para compreender plenamente a natureza dessa interdependência, é necessário ir além de afirmações genéricas e examinar como exatamente as florestas influenciam — e são influenciadas — pelo clima global. Este capítulo examina as múltiplas funções desempenhadas pelas florestas tropicais e apresenta como uma nova forma de enxergar a relação entre florestas e clima pode fortalecer tanto a ação climática quanto a gestão florestal.

A Dinâmica do carbono: de Emissores a Sumidouros Líquidos

As florestas são vitais para o equilíbrio de carbono do planeta. As florestas intactas funcionam como sumidouros de carbono, absorvendo dióxido de carbono (CO₂) da atmosfera por meio da fotossíntese. Ao fazer isso, elas ajudam a mitigar as mudanças climáticas, armazenando bilhões de toneladas de CO₂. No entanto, esse equilíbrio pode ser facilmente perturbado. Quando as florestas são degradadas ou desmatadas, elas liberam na atmosfera o carbono previamente armazenado, tornando-se fontes líquidas de carbono. Na verdade, as mudanças no uso da terra, particularmente o desmatamento, contribuem significativamente para as emissões globais de GEE (IPCC 2022).

O papel das florestas como sumidouros ou fontes de carbono depende diretamente da ação humana. Decisões sobre o uso da terra, como a expansão da agropecuária ou da infraestrutura em áreas florestais, tendem a transformar essas áreas em emissores de carbono. Por outro lado, esforços de conservação e restauração podem fortalecer o papel das florestas como aliadas no enfrentamento da crise climática, ampliando sua capacidade de capturar e armazenar carbono.

Ao contrário do que se acredita, atender à demanda global por alimentos não requer mais desmatamento. Pesquisas mostram que a produção agropecuária atual, se gerenciada de forma eficiente, é suficiente para sustentar a população global (Souza e Assunção 2020). Estatísticas da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) indicam que, apesar do aumento observado no volume da produção agropecuária, a área de produção global permaneceu estável nas últimas duas décadas. Isso reforça o argumento de que a perda florestal não é necessária para atender à demanda crescente de alimentos, mas uma consequência de condutas políticas e de mercados ineficientes.

Embora as mudanças climáticas tragam novas ameaças que podem enfraquecer a resiliência das florestas, elas também amplificam a urgência da restauração florestal. Essa relação ressalta a importância de proteger as florestas existentes e de restaurar as degradadas. As florestas restauradas não apenas capturam o carbono perdido, mas também melhoram a biodiversidade, os ciclos hídricos e os meios de subsistência locais. Entre todas as soluções climáticas baseadas na natureza, a proteção e a restauração florestal continuam sendo as opções mais escaláveis e econômicas para a captura de carbono (Assunção et al. 2025).

Se as florestas irão agravar a crise climática ou contribuir para solucioná-la dependerá das escolhas que fizermos hoje.

Biodiversidade: Florestas Tropicais como Pontos Críticos Globais

As florestas tropicais abrigam mais de 50% de todas as espécies terrestres, tornando-as os ecossistemas mais biodiversos da Terra (Pillay et al. 2021). Essa biodiversidade não é apenas valiosa em si mesma, ela desempenha um papel funcional crítico na manutenção da resiliência florestal e no apoio a serviços ecossistêmicos essenciais, incluindo o sequestro de carbono, a regulação da água e a fertilidade do solo (Myers et al. 2000).

Muitas dessas florestas estão localizadas em pontos críticos de biodiversidade: 36 regiões reconhecidas globalmente pelas concentrações excepcionais de espécies endêmicas estão sob grave ameaça devido à atividade humana. Embora ocupem apenas 2,5% da superfície terrestre, esses pontos críticos garantem mais de 35% dos serviços ecossistêmicos essenciais à sobrevivência de populações vulneráveis, como acesso à água potável, alimentos e regulação climática (Conservation International sd). Sendo assim, a proteção dessas áreas traz benefícios enormes tanto para a natureza quanto para as pessoas.

A biodiversidade aumenta a resiliência dos ecossistemas, permitindo que as florestas resistam melhor ao estresse climático, enquanto continuam a desempenhar funções essenciais. A diversidade de espécies e a variação genética ajudam os ecossistemas a se adaptarem a choques térmicos e a se recuperarem de eventos negativos. Por outro lado, a perda de biodiversidade prejudica essas funções, enfraquecendo a capacidade das florestas de armazenar carbono e regular os ciclos hidrológicos (Myers et al. 2000).

Além dos benefícios ecológicos, a biodiversidade tem um profundo valor cultural e econômico. As comunidades que residem nas florestas tropicais e ao redor delas dependem de uma ampla variedade de produtos florestais para sua subsistência e tradições, tais como nozes, frutas, plantas medicinais, borracha e madeira.

A restauração da biodiversidade e a mitigação das mudanças climáticas são objetivos que se reforçam mutuamente. A regeneração natural bem planejada, utilizando espécies nativas, pode recuperar até 90% da riqueza original de espécies, superando significativamente a monocultura em termos de função ecológica e resiliência (Rozendaal et al. 2019). **Proteger as florestas existentes e restaurar as degradadas, especialmente em pontos críticos de biodiversidade, é um caminho eficiente para alcançar os objetivos climáticos e de desenvolvimento socioeconômico.**

Regulação da Água e do Clima: as Florestas como Estabilizadoras do Clima

Além de seu papel no armazenamento de carbono e na conservação da biodiversidade, as florestas tropicais são fundamentais para sustentar o ciclo da água em várias escalas. A vegetação nessas florestas recicla continuamente a umidade por meio da evapotranspiração — o processo pelo qual a água é transferida do solo e das plantas para a atmosfera — influenciando a distribuição das chuvas tanto localmente quanto em regiões distantes (Salati et al. 1979; Aragão 2012; Beveridge et al. 2024). Esse ciclo de umidade atua como uma ponte climática entre os ecossistemas, o que significa que a degradação ambiental em uma área pode impactar o regime de chuvas e o equilíbrio ecológico em outras.

Essa interdependência torna as florestas tropicais particularmente vulneráveis a efeitos em cascata. Por exemplo, quando grandes áreas de floresta são perdidas na Amazônia oriental, a redução resultante na umidade atmosférica pode prejudicar a resiliência das florestas a favor do vento, aumentando a probabilidade de degradação (Lovejoy e Nobre 2018). Araujo (2023) estima que a degradação florestal expande significativamente a área impactada, muitas vezes dobrando-a por conta desses ciclos de retroalimentação de umidade. É alarmante o fato de algumas partes da Amazônia já mostrarem sinais de se tornarem emissoras líquidas de carbono, em vez de sumidouros; isso destaca os efeitos desestabilizadores dessas alterações no ciclo hidrológico (Gatti et al. 2021). Flores et al. (2024) alertam ainda que uma grande parte do bioma poderá em breve atingir um limiar crítico de exposição a tais riscos.

As consequências não se limitam apenas à floresta. A queda no regime de chuvas, associado ao desmatamento, reduz a produtividade agropecuária em áreas a favor do vento (Leite-Filho et al. 2021; Spracklen, Arnold e Taylor 2012; Araujo 2023), ao mesmo tempo em que prejudica a geração de energia hidrelétrica, que é fortemente dependente de fluxos de água previsíveis (Stickler et al. 2013; Araujo 2024; Araujo e Mourão 2023). **Essas alterações no ciclo hidrológico provocam implicações econômicas e sociais abrangentes, ressaltando a necessidade de proteger a integridade da floresta para garantir a segurança climática e dos recursos.**

Benefícios Sociais e de Desenvolvimento: Florestas e o Bem-estar Humano

Além do valor ecológico e climático, as florestas tropicais estão profundamente interligadas ao bem-estar e ao desenvolvimento humano. As florestas sustentam a subsistência de mais de 1,6 bilhão de pessoas em todo o mundo, particularmente em áreas rurais, fornecendo alimentos, medicamentos, combustível, madeira, fibras e oportunidades de geração de renda por meio de mercados formais e informais (Grima et al. 2023). Para muitas comunidades, especialmente povos indígenas e populações tradicionais, as florestas não são somente uma fonte de sustento material, mas também base importante da identidade cultural, da vida espiritual e da coesão social (UNEP 2021).

Em estudo, Levis et al. (2017) analisaram dados de milhares de parcelas florestais em toda a Amazônia e descobriram que muitas das espécies de árvores mais abundantes da região — incluindo castanha-do-pará, cacau e certas palmeiras — foram historicamente cultivadas e disseminadas por povos indígenas. Essa pesquisa desafia a noção da Amazônia como “selva intocada” e, em vez disso, demonstra que o manejo humano tem sido parte integrante da estrutura e da diversidade da floresta ao longo de milênios. Isso está em linha com evidências arqueológicas que indicam que a Amazônia já abrigou milhões de pessoas que manejavam ativamente espécies e paisagens, contribuindo de forma decisiva para as florestas que conhecemos hoje (Neves 2016).

A proteção florestal pode trazer benefícios colaterais significativos para o desenvolvimento. Quando bem gerenciados, os esforços de conservação e restauração podem fortalecer as economias locais, apoiando cadeias de valor sustentáveis, incluindo produtos florestais não madeireiros, silvicultura comunitária, ecoturismo e agropecuária compatível com a floresta (FAO et al. 2023). Essas abordagens, quando alinhadas com os direitos e os conhecimentos das comunidades locais, oferecem caminhos de desenvolvimento mais inclusivos e resilientes (Agrawal et al. 2009).

As evidências também mostram que as florestas são fundamentais para promover a justiça climática e a equidade social. As comunidades indígenas e locais muitas vezes atuam como guardiãs eficazes da biodiversidade e dos estoques de carbono — gerenciando pelo menos 36% das florestas intactas globalmente —, mas essas áreas continuam entre as mais vulneráveis ao desmatamento, à apropriação de terras e aos impactos climáticos (IPCC 2022). Reconhecer os direitos de posse da terra, garantir o acesso a mecanismos de repartição de benefícios e investir na governança florestal liderada pela comunidade são, portanto, essenciais não apenas para os resultados da conservação, mas também para a justiça social e econômica (FAO 2024).

À medida que os países buscam alinhar as prioridades ambientais com as metas de redução da pobreza e de desenvolvimento rural, a proteção das florestas pode servir como uma ferramenta estratégica, que une a ação climática global ao bem-estar local e ao desenvolvimento de longo prazo.

Florestas e Adaptação

As florestas são fundamentais para a agenda climática não apenas por seu papel na mitigação, mas também por sua capacidade de apoiar a adaptação. Esse duplo papel pode ser entendido como **adaptação para as florestas**, que se refere a medidas que ajudam as florestas a permanecerem resilientes diante do estresse climático, e **florestas para adaptação**, que destaca os serviços florestais que contribuem para fortalecer a resiliência das sociedades e das economias.

A *adaptação para as florestas* refere-se às estratégias, práticas e políticas que ajudam os ecossistemas florestais — e as pessoas que deles dependem — a se ajustar aos impactos das mudanças climáticas, mantendo suas funções ecológicas, econômicas e sociais. Elas visam abordar as crescentes vulnerabilidades que as florestas enfrentam devido a secas, pragas, mudanças na distribuição das espécies e incêndios florestais. Estratégias como o manejo do fogo, o controle de espécies invasoras, a conservação da diversidade genética e de espécies e a criação de plantações mais resilientes garantem que as florestas continuem a prosperar e a fornecer serviços ecossistêmicos essenciais diante das mudanças do clima (Keenan 2015).

As *florestas para adaptação* enfatizam o papel crucial que as florestas desempenham no apoio às pessoas, às comunidades e às economias na adaptação aos impactos das mudanças climáticas, através da regulação dos ciclos hídricos, proteção dos solos, redução dos riscos de inundações e secas e fornecimento de alimentos, combustível e outros produtos que servem como redes de segurança em tempos de crise. Esses serviços são indispensáveis para setores particularmente sensíveis ao clima, como agropecuária, gestão da água e energia. Um exemplo marcante são os “rios voadores” da Amazônia, o transporte maciço de umidade gerado pelas florestas que sustenta os regimes de chuvas em toda a América do Sul. O desmatamento desestabiliza esse sistema, trazendo consequências para a agropecuária, a segurança hídrica e a energia hidrelétrica (Araujo 2024). **A preservação das florestas torna-se, assim, uma medida de adaptação em si mesma, garantindo fluxos estáveis de água, reduzindo a sedimentação e salvaguardando a confiabilidade da geração de energia hidrelétrica.**

Juntas, essas perspectivas formam a base da **adaptação baseada nas florestas**, uma abordagem que reúne manejo florestal sustentável, conservação, restauração e reflorestamento para fortalecer a resiliência. Além de ajudar as comunidades a lidarem com os impactos climáticos, a adaptação baseada nas florestas também gera benefícios adicionais de mitigação e contribui diretamente para a maioria dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (Libert-Amico et al. 2022).

O Nexo Floresta-Clima

As florestas tropicais e o sistema climático global estão interligados por uma relação profundamente recíproca. As florestas influenciam o clima ao armazenar grandes quantidades de carbono, moldar os padrões de precipitação por meio da evapotranspiração e regular as temperaturas da superfície. Ao mesmo tempo, elas estão cada vez mais vulneráveis aos impactos das mudanças climáticas, incluindo temperaturas mais altas, mudanças nos regimes de precipitação, secas prolongadas e incêndios florestais mais frequentes. Essa dinâmica bidirecional significa que a perda de florestas acelera as mudanças climáticas e, ao mesmo tempo, as mudanças climáticas afetam a resiliência das florestas.

Entender a relação entre florestas e clima é essencial para este relatório, que mostra de que forma as florestas tropicais podem contribuir tanto para a mitigação quanto para a adaptação às mudanças climáticas, além de apresentar políticas e estratégias financeiras eficazes.

As florestas estão entre as soluções climáticas mais escaláveis e econômicas disponíveis atualmente. Elas absorvem cerca de um terço das emissões anuais de CO₂ e provenientes da atividade humana e são essenciais para alcançar as metas climáticas globais. Proteger as florestas em pé conserva imensos estoques de carbono, enquanto a restauração em larga escala por meio da regeneração natural e do reflorestamento pode proporcionar remoções imediatas e de baixo custo de carbono.

A agenda climática, por sua vez, pode proporcionar as condições necessárias para uma proteção florestal mais forte. Mecanismos bem estruturados de financiamento e políticas climáticas podem canalizar recursos significativos para a conservação e restauração, criar incentivos de longo prazo para o manejo sustentável e reduzir os riscos políticos e econômicos. Ao alinhar as estratégias florestais e climáticas, sob o *nexo floresta-clima*, os países podem estabelecer um ciclo de reforço mútuo, no qual as ações climáticas protegem as florestas, e as florestas impulsionam o alcance das metas climáticas.



Países com Florestas Tropicais: Desafios e Oportunidades

As florestas tropicais abrigam as florestas mais biodiversas e ricas em carbono do mundo, cobrindo aproximadamente 1,27 bilhão de hectares em todo o planeta. Na última década, países com florestas tropicais perderam coletivamente mais de 10 milhões de hectares de floresta tropical por ano. Os fatores que levam ao desmatamento variam amplamente entre as regiões e incluem o desmatamento para pecuária, cultivo e agricultura de subsistência, extração de lenha, extração ilegal de madeira e até mesmo práticas associadas a atividades ilegais, como o narcotráfico. **Ao mesmo tempo, as estimativas do CPI/PUC-Rio indicam que as áreas desmatadas de 2001 a 2023 têm potencial para capturar até 49 GtCO₂, destacando o papel crucial dos esforços de restauração na agenda climática.** Este número é significativo porque, a partir de 2024, o orçamento de carbono restante é de aproximadamente 900 GtCO₂ e para limitar o aquecimento global a menos de 2 °C, e apenas 200 GtCO₂ e para permanecer dentro da meta de 1,5 °C (UNEP 2024).

Três elementos-chave dessa agenda — combater o desmatamento, proteger as florestas em pé, e restaurar as florestas — se manifestam de maneiras diferentes nos países tropicais, refletindo variações na geografia, nas pressões pelo uso da terra, na governança e na capacidade institucional. **Compreender a proeminência e a natureza interconectada dessas dinâmicas em cada contexto é necessário para fortalecer o nexso floresta-clima.**

Este capítulo analisa a escala da agenda florestal em cada país tropical, estimando a área de floresta a ser protegida, a dinâmica atual do desmatamento e o volume potencial de carbono que poderia ser capturado por meio da restauração florestal. A partir de uma abordagem de *machine learning*,¹ os países foram classificados em três grupos distintos, de acordo com seus desafios de gestão florestal: (i) aqueles com alta cobertura florestal, baixo desmatamento e baixo potencial de carbono; (ii) aqueles com baixa cobertura florestal, alto desmatamento e baixo potencial de carbono; e (iii) aqueles com alta cobertura florestal, alto desmatamento e alto potencial de carbono. Em seguida, este capítulo examina a relação entre o desenvolvimento econômico e a agenda florestal.

A análise destaca três *insights* principais. Primeiro, a conservação e a restauração das florestas tropicais exige iniciativas que correspondam à escala do desafio para desbloquear plenamente seu potencial de mitigação climática global. Segundo, a diversidade dos contextos nacionais demanda abordagens políticas diferenciadas e flexíveis. Os países apresentam diferenças significativas em termos de cobertura florestal, status de conservação e capacidade biofísica de regeneração de carbono, tornando essencial a adoção de estratégias sob medida. Terceiro, os dados não indicam uma relação inerente entre a agenda florestal e o desenvolvimento econômico: países com taxas mais altas de desmatamento não têm necessariamente níveis de renda mais altos, sugerindo que a perda de florestas não é condição necessária para o desenvolvimento econômico. Da mesma forma, países com grandes áreas florestais não têm necessariamente um PIB per capita baixo.

¹ Os países foram classificados utilizando agrupamento hierárquico aglomerativo (método de Ward, distância euclidiana) com base em três variáveis: proporção da área florestal dentro do bioma, proporção do desmatamento em 2013-2023 e estoque relativo de carbono.

A Escala da Agenda Florestal

Para quantificar a escala da agenda florestal tropical, foram desenvolvidos indicadores consistentes em três dimensões: área florestal, perda florestal e potencial para sequestro de carbono.

A análise abrange países dentro da ecorregião de *Florestas Tropicais e Subtropicais Úmidas de Folhas Largas*. Para simplificar, o termo “florestas tropicais” é usado para se referir a essa região ecológica. Os limites geográficos do bioma seguem a delimitação original de Olson et al. (2001) em sua tipologia global de ecorregiões terrestres, posteriormente refinada por Dinerstein et al. (2017). Todos os países soberanos com qualquer parte de seu território sobrepondo-se ao bioma foram considerados, independentemente do tamanho relativo dessa sobreposição, totalizando 91 países. As fronteiras nacionais foram obtidas a partir do conjunto de dados Natural Earth. Territórios ultramarinos, dependências administrativas e outras subdivisões não soberanas foram excluídos.

A extensão da floresta foi calculada usando a versão mais recente disponível (v1.11, 2023) do conjunto de dados global de cobertura arbórea de Hansen et al. (2013), restrito a pixels com cobertura de copa maior ou igual a 30% e vegetação com altura superior a cinco metros no ano 2000. Apenas os pixels localizados dentro dos limites da ecorregião das *Florestas Tropicais e Subtropicais Úmidas de Folhas Largas* foram considerados, utilizando dados com resolução de 30 metros. De acordo com esse método, a ecorregião cobre aproximadamente 1,93 bilhão de hectares globalmente, dos quais 1,25 bilhão de hectares eram florestados em 2023, representando aproximadamente 65% da área total da ecorregião. A Figura 1 mostra as áreas de floresta tropical em 2023, bem como as áreas desmatadas.

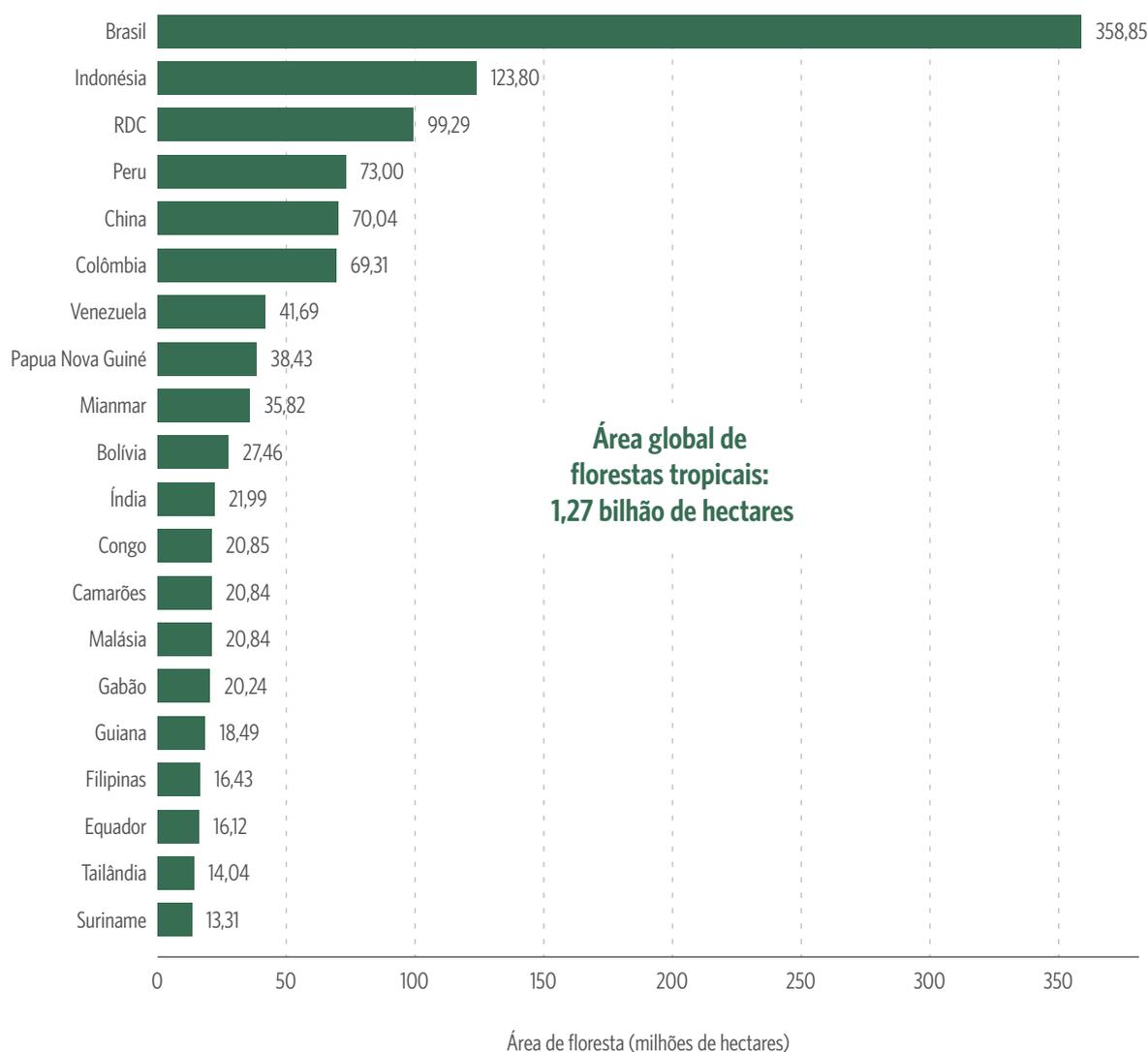
Figura 1. Áreas de Floresta Tropical em 2023 e Áreas Desmatadas entre 2001 e 2023



Fonte: CPI/PUC-Rio com dados de Hansen et al. (2013) - v1.11, 2025

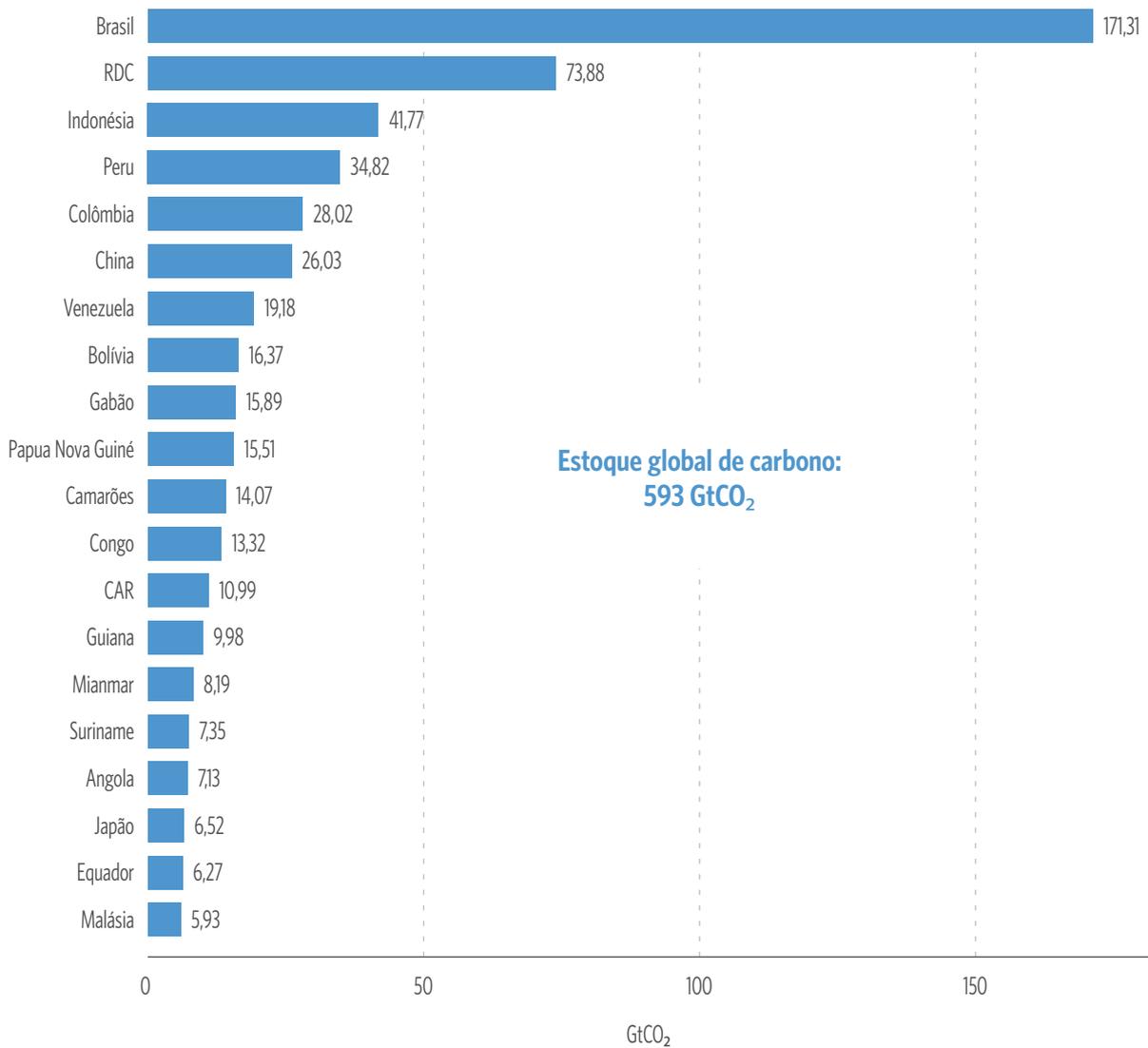
Nos 91 países analisados, as florestas armazenam cerca de 593 GtCO₂ — aproximadamente um terço de todas as emissões globais históricas. Esse valor é estimado usando os mapas globais de potencial de biomassa de Santoro e Cartus (2024), com resolução de 500 metros. O Brasil é responsável pela maior parte, principalmente devido ao vasto bioma amazônico. Notavelmente, embora a área florestal da República Democrática do Congo seja cerca de 20% menor que a da Indonésia, ela armazena mais de 75% de carbono. Essa diferença, que também é observada em outros casos, ressalta a significativa heterogeneidade na densidade florestal e na biomassa entre os países tropicais. A Figura 2 e a Figura 3 apresentam os 20 países com a maior área de floresta tropical e o maior estoque de carbono, respectivamente.

Figura 2. Os 20 Países com a Maior Área de Floresta Tropical, 2023



Fonte: CPI/PUC-Rio com dados de Hansen et al. (2013) - v1.11, 2025

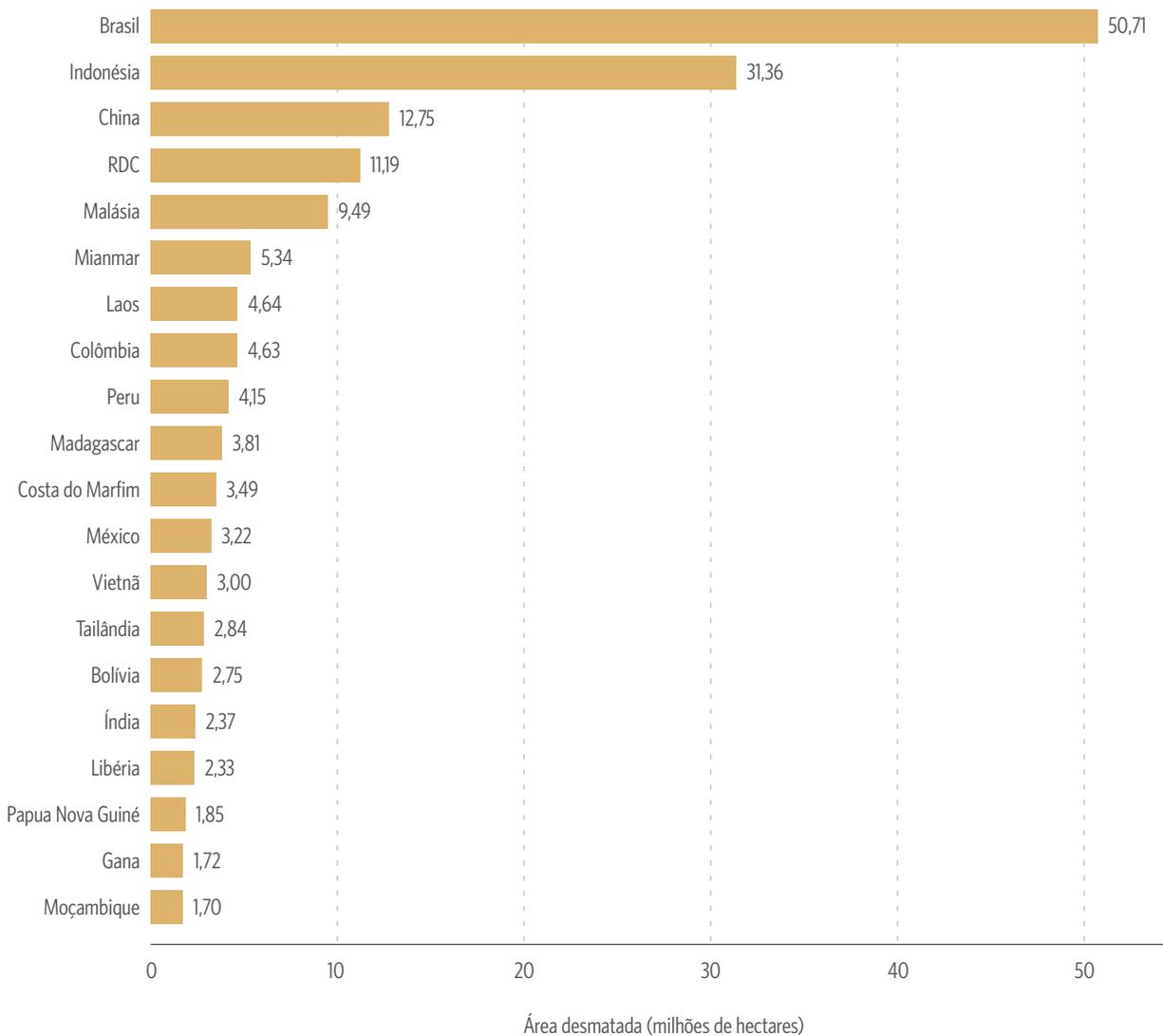
Figura 3. Os 20 Países com Maior Estoque de Carbono, 2023



Fonte: CPI/PUC-Rio com dados de Hansen et al. (2013) - v1.11, 2025

A análise estima o desmatamento com base na perda anual de cobertura arbórea de 2001 a 2023 (Figura 4). Ao longo do período, foram perdidos cerca de 180 milhões de hectares de floresta, o que representa quase 10% da área da ecorregião. Nos últimos anos, o desmatamento médio anual ultrapassou 10 milhões de hectares.

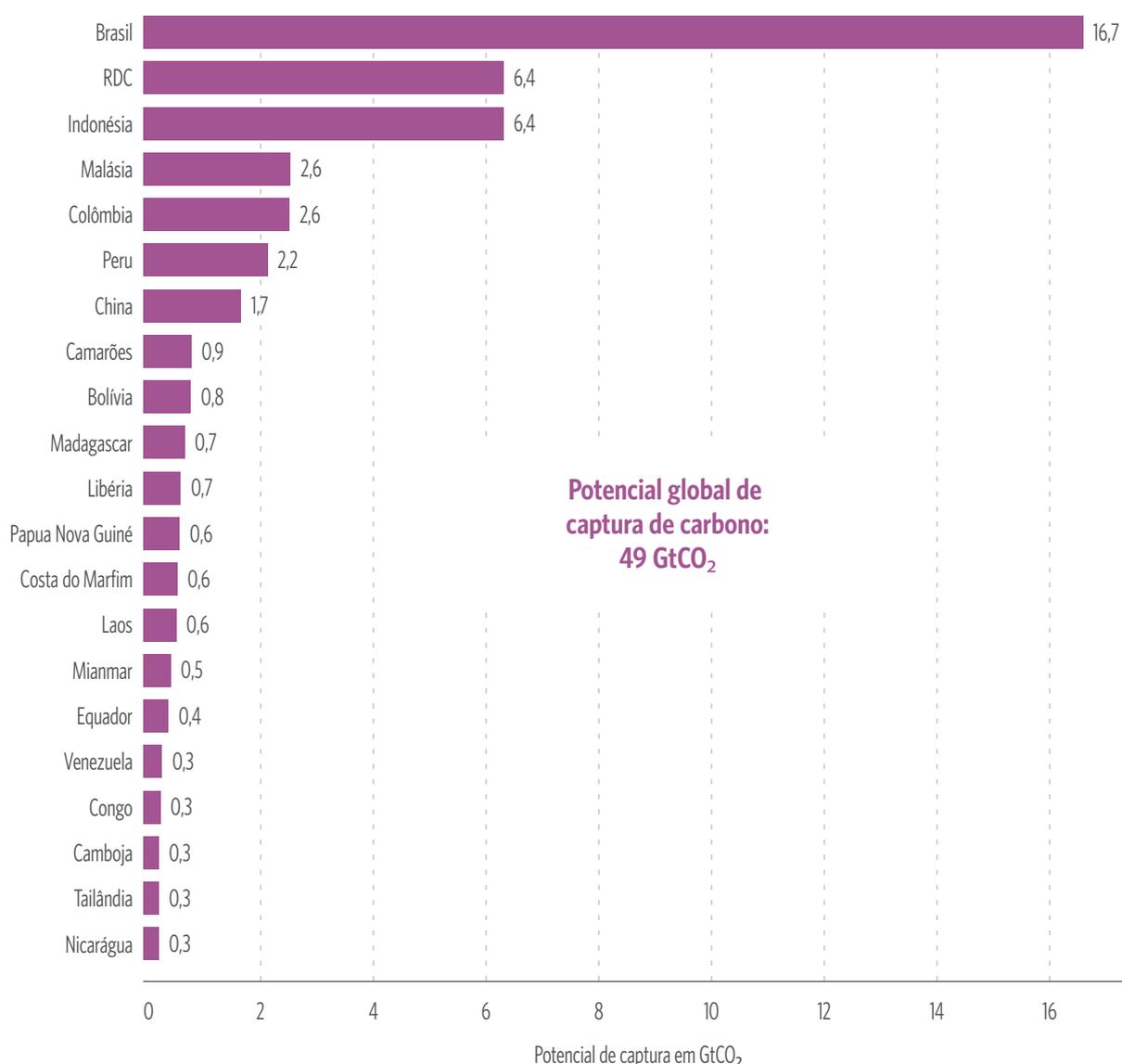
Figura 4. Os 20 Países com Maior Desmatamento de Florestas Tropicais, 2001-2023



Fonte: CPI/PUC-Rio com dados de Hansen et al. (2013) - v1.11, 2025

O potencial de captura de carbono em áreas desmatadas entre 2001 e 2023 é estimado seguindo a metodologia desenvolvida por Assunção, Hansen, Munson e Scheinkman (2025), que utiliza uma abordagem de regressão espacial baseada em covariáveis ambientais e geográficas. A biomassa acima do solo é modelada como uma função da precipitação, temperatura, latitude e longitude, utilizando valores de carbono observados em pixels de floresta intacta. Esse modelo é então aplicado a pixels que foram desmatados entre 2001 e 2023 para prever a biomassa potencial que pode ser capturada por meio da regeneração natural. Essa abordagem produz uma estimativa espacialmente explícita do carbono que poderia ser recuperado se as áreas fossem restauradas, sob o pressuposto de uma regeneração biofísica total. A estimativa corresponde a um potencial global de sequestro de 49 GtCO₂ capturados por meio do reflorestamento das áreas desmatadas entre 2001 e 2023. A Figura 5 apresenta os 20 países com o maior potencial de captura de carbono.

Figura 5. Os 20 Países com o Maior Potencial de Captura de GtCO₂ de Áreas Desmatadas entre 2001 e 2023



Fonte: CPI/PUC-Rio com dados de Hansen et al. (2013) - v1.11, 2025, CHIRPS (2023) e TerraClimate (2020), 2025

A Diversidade da Agenda Florestal

Para capturar a diversidade de desafios e oportunidades relacionados às florestas em países com florestas tropicais, foi realizado um exercício de classificação com base em três dimensões principais: desmatamento recente, floresta em pé e potencial de restauração florestal.

Uma técnica não supervisionada de *machine learning* foi aplicada usando indicadores relativos padronizados: a proporção do território nacional coberto por floresta tropical, a proporção de floresta perdida devido ao desmatamento recente e o potencial estimado de captura de carbono da restauração. O uso de valores relativos, em vez de absolutos, permite comparações significativas entre países, independentemente do tamanho geográfico. Todas as variáveis foram normalizadas usando escores-z para garantir a comparabilidade entre diferentes unidades e escalas.

O número de agrupamentos foi fixado em três, buscando equilibrar interpretabilidade e diferenciação, de modo a capturar padrões amplos em vez de distinções muito detalhadas.

- **O agrupamento 1** (alta cobertura florestal, baixo desmatamento, baixo potencial de carbono) inclui países com extensas florestas em pé e desmatamento recente relativamente baixo, como Guiana e Papua-Nova Guiné.
- **O agrupamento 2** (baixa cobertura florestal, alto desmatamento, baixo potencial de carbono) compreende países que enfrentam altas pressões de desmatamento, incluindo México, China e Nigéria.
- **O agrupamento 3** (alta cobertura florestal, alto desmatamento, alto potencial de carbono) consiste em países com grandes áreas florestais e potencial significativo de restauração devido ao desmatamento passado, como Brasil, República Democrática do Congo e Indonésia.

Conforme ilustrado na Figura 6, esses grupos estão geograficamente dispersos, ressaltando o papel da governança nacional, da estrutura econômica e das políticas de uso da terra na definição dos resultados florestais.

Alta Cobertura Florestal, Baixo Desmatamento, Baixo Potencial de Carbono

Os países desse grupo são caracterizados por uma proporção consistentemente elevada de floresta tropical na parte do seu território que se sobrepõe à ecorregião tropical e subtropical de folha larga úmida. Esses países mantiveram taxas relativamente baixas de desmatamento nas últimas duas décadas e, como resultado, o principal desafio não é restaurar o que foi perdido, mas proteger a floresta de pé. Políticas que se concentram na conservação a longo prazo, na fiscalização de áreas protegidas e no apoio a comunidades dependentes da floresta são especialmente relevantes para este grupo, onde o capital natural e os estoques de carbono permanecem praticamente intactos, mas não necessariamente imunes às pressões crescentes.

Este grupo desempenha um papel crucial no fornecimento de serviços ecossistêmicos globais e regionais. Na Oceania, por exemplo, países como Papua Nova Guiné e Vanuatu funcionam como santuários ecológicos, preservando altos níveis de endemismo e atuando como amortecedores contra o colapso da biodiversidade na região (Oliver et al. 2022; Kier et al. 2009; Hamilton, Klein e Austin 2010). Suas florestas ajudam a regular os padrões de precipitação, manter a resiliência costeira e armazenar grandes quantidades de biomassa viva (Spracklen et al. 2012; Theeuwes et al. 2023; Smith, Baker e Spracklen 2023). Na América do Sul, o Suriname se destaca por ter uma das maiores porcentagens de cobertura florestal intacta do mundo, servindo tanto como sumidouro de carbono quanto como reservatório de biodiversidade (Potapov et al. 2022; FAO 2020). Essas florestas fornecem serviços que vão muito além das fronteiras nacionais, incluindo estabilidade climática, regulação hidrológica e corredores de polinização.

Apesar de seus perfis de conservação relativamente fortes, alguns países desse grupo enfrentam ameaças emergentes. Enquanto os países da Bacia do Congo enfrentam o aumento do desmatamento causado por pequenos agricultores, pela agricultura itinerante e pela produção de carvão vegetal, os países da região amazônica-andina enfrentam o desmatamento impulsionado principalmente pela pecuária, pela expansão das culturas e, especialmente em 2024, pelos incêndios. O Suriname mantém baixos níveis de desmatamento, enquanto o desmatamento na Guiana disparou em 2024 e enfrenta uma pressão crescente da mineração (Goldman et al. 2025; Potapov et al. 2022). Na América Central e no Caribe, bem como nas ilhas do Pacífico, o desmatamento é impulsionado principalmente pela agropecuária e pelos assentamentos rurais, enquanto na África e na Ásia o crescimento das terras cultiváveis e das áreas urbanas, com inundações causadas por hidrelétricas em partes da Ásia, ameaçam a conservação das florestas.

Baixa Cobertura Florestal, Alto Desmatamento, Baixo Potencial de Carbono

Os países desse grupo são caracterizados por altos níveis de desmatamento. Em muitos desses casos, a cobertura florestal era historicamente baixa ou foi amplamente degradada ao longo do tempo, resultando em paisagens dominadas por terras agrícolas, outros tipos de vegetação ou assentamentos urbanos. Consequentemente, as estimativas para o potencial de sequestro de carbono do reflorestamento também são baixas, seja devido à área florestal limitada ou porque as condições biofísicas e socioeconômicas restringem a regeneração. Embora esses países possam não ser centrais para os esforços de restauração em larga escala, eles são essenciais na interrupção do desmatamento residual e para evitar uma maior degradação de ecossistemas já frágeis.

O desmatamento nesses países é impulsionado principalmente pela conversão para a agropecuária permanente e pela expansão de assentamentos e infraestrutura, com padrões específicos para cada região: na América Latina e nos países do Caribe, uma temporada de incêndios excepcional em 2024 amplificou drasticamente as perdas, enquanto o desmatamento para fins agrícolas continuou sendo o principal fator. Os incêndios foram responsáveis por uma grande parte da perda de florestas primárias em Belize, Guatemala e México (Goldman et al. 2025; Potapov et al. 2022).

Nos países do Sul e Sudeste da Ásia, o desmatamento para fins agrícolas é proeminente, especialmente no Camboja, Laos, Vietnã e Tailândia. Também há sinais de substituição de florestas altas por plantações, de inundações associadas a pequenos, mas não desprezíveis, reservatórios hidrelétricos, e de forte crescimento urbano e de assentamentos, especialmente na China. Nos países da África Subsaariana, a perda florestal é mais difusa, mas ocorre consistentemente em conjunto com a expansão das terras agrícolas, juntamente com o crescimento dos assentamentos e o desenvolvimento de infraestruturas (Goldman et al. 2025; Potapov et al. 2022).

Alta Cobertura Florestal, Alto Desmatamento, Alto Potencial de Carbono

O último grupo inclui três países — Brasil, Indonésia e República Democrática do Congo — que concentram uma parcela desproporcionalmente grande das florestas tropicais do mundo. Esses países combinam vastas áreas florestais remanescentes, desmatamento significativo nas últimas décadas e um potencial extremamente alto de regeneração de carbono. Todos os três possuem partes das principais bacias florestais tropicais do planeta: a Amazônia, a Bacia do Congo e os arquipélagos tropicais do Sudeste Asiático. Suas trajetórias de uso da terra têm implicações globais, pois as mudanças na cobertura florestal nesses territórios afetam diretamente o carbono atmosférico, a conservação da biodiversidade e os ciclos hidrológicos em todos os continentes. Em termos climáticos, eles são insubstituíveis.

Apesar das semelhanças, a dinâmica do desmatamento nesses países difere significativamente. No Brasil, uma combinação de especulação fundiária, pecuária, expansão da soja e desenvolvimento de infraestrutura, especialmente no bioma amazônico, tem impulsionado o desmatamento nas últimas décadas. Ambiguidades jurídicas, fiscalização fraca e oscilações políticas moldaram um cenário de intenso conflito pelo uso da terra (Lima Filho, Bragança e Assunção 2021; Santos et al. 2025; Skidmore et al. 2021).

Na Indonésia, o desmatamento florestal tem sido historicamente associado à produção de óleo de palma, extração de madeira e drenagem de turfeiras, o que tem gerado não somente a perda de cobertura florestal, mas também emissões significativas de GEE provenientes da oxidação da turfa e de incêndios. Mudanças políticas mais recentes, incluindo moratórias sobre a conversão de florestas primárias e programas de restauração de turfeiras, reduziram a perda, mas não a eliminaram (Austin et al. 2017; Austin et al. 2019).

Na República Democrática do Congo, os fatores que levam ao desmatamento são mais fragmentados e localizados, incluindo agricultura de corte e queima, extração de lenha e extração artesanal de madeira, muitas vezes sustentados pela pobreza rural e pela presença limitada do Estado (Ickowitz et al. 2015; Achille, Zhang e Anoma 2021). Nos três países, a governança fundiária continua sendo um gargalo importante, e a perda florestal continua acontecendo mesmo em áreas oficialmente protegidas.

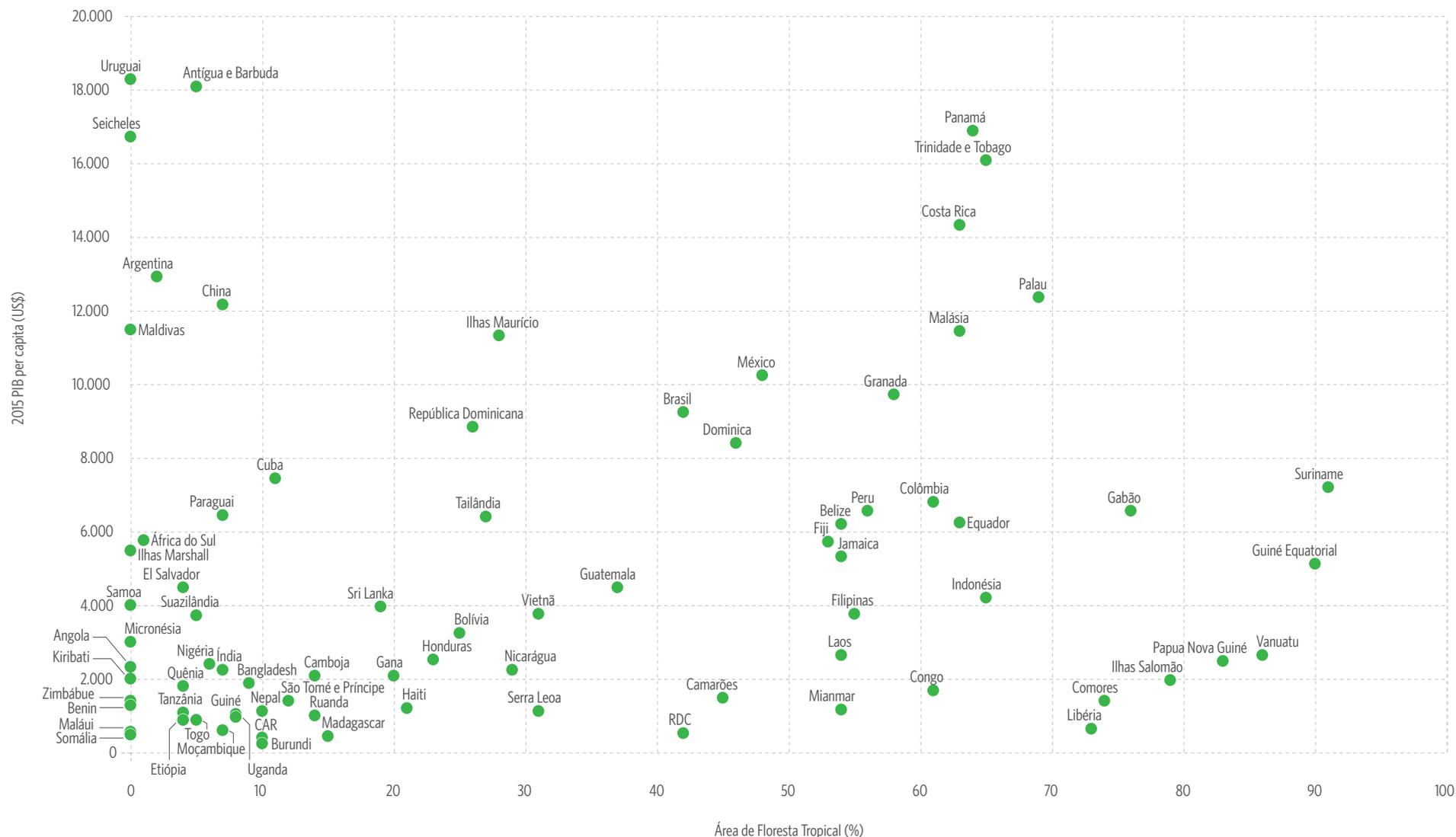
Juntos, esses três países representam cerca de 29,45 GtCO₂ em carbono potencial que poderia ser removido da atmosfera por meio da restauração de áreas desmatadas entre 2001 e 2023. Individualmente, os números são impressionantes: só o Brasil detém 16,67 GtCO₂, o equivalente às emissões totais de todos os veículos de passageiros em todo o mundo por mais de quatro anos (IEA 2024). A Indonésia e a República Democrática do Congo possuem, cada uma, mais de 6 GtCO₂. Esses números demonstram como a restauração florestal pode desempenhar um papel fundamental na luta contra as mudanças climáticas.

Florestas e o Desenvolvimento Econômico

A conservação florestal é frequentemente percebida como uma iniciativa que demanda políticas públicas onerosas que restringem a expansão agrícola, o desenvolvimento de infraestruturas e a extração de recursos, sugerindo um conflito entre a proteção ambiental e o crescimento econômico. No entanto, a conservação ambiental e o crescimento econômico podem ser objetivos compatíveis e avançar simultaneamente, dependendo da natureza do progresso tecnológico e do padrão histórico de ocupação da terra.

As Figuras 7 e 8 examinam a relação entre a proporção da área de floresta tropical e a renda per capita, bem como o crescimento do PIB. A distribuição dos níveis de renda não mostra um padrão consistente em relação à cobertura florestal, com países que abrangem rendas baixas a altas, independentemente de sua proporção de floresta. As taxas de crescimento do PIB também apresentam grande variação entre nações com proporções grandes e pequenas de floresta. **Essas análises visuais demonstram a ausência de uma associação clara entre a área florestal e o desempenho econômico e reforçam a compatibilidade dos objetivos econômicos e ambientais.**

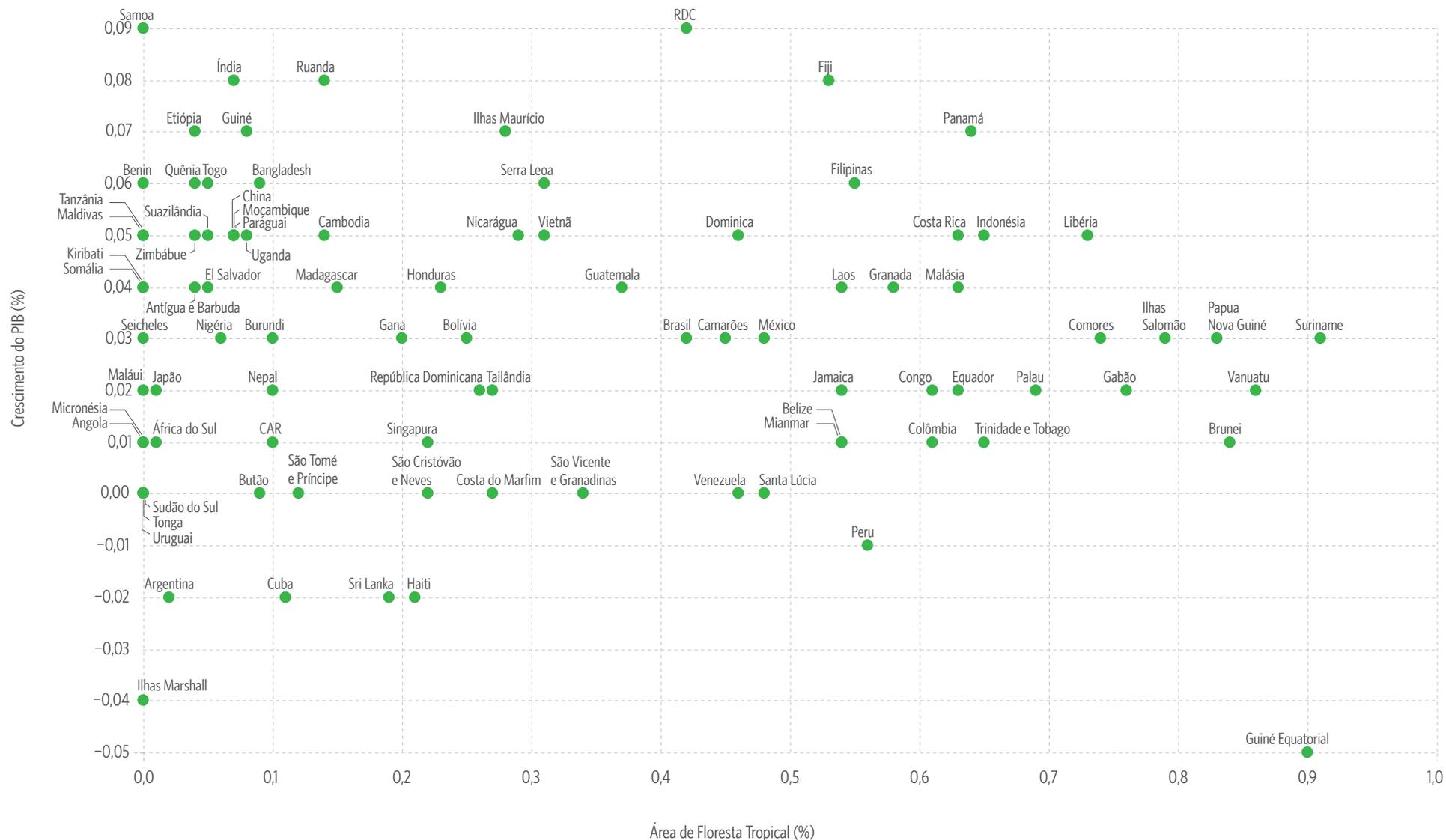
Figura 7. Cobertura Florestal Tropical e PIB per capita, 2023



Fonte: CPI/PUC-Rio com dados de Hansen et al. (2013) e Indicadores de Desenvolvimento Mundial (Banco Mundial 2023), 2025

Nota: Os dados relativos à área florestal do México provêm do INEGI (2019) e referem-se ao ano de 2014. Os países com PIB per capita superior a US\$ 20.000 e sem informações disponíveis sobre o PIB foram removidos para facilitar a visualização. O ano base para a paridade do dólar americano é 2015.

Figura 8. Cobertura Florestal Tropical e Crescimento do PIB, 2023



Fonte: CPI/PUC-Rio com dados de Hansen et al. (2013) e Indicadores de Desenvolvimento Mundial (Banco Mundial 2023), 2025

Nota: os dados sobre a área florestal do México são provenientes do INEGI (2019) e referem-se ao ano de 2014. A Guiana, com crescimento do PIB de 34% e área florestal de 87%, foi removida para facilitar a visualização.

Traçando uma Estratégia Diferenciada para Florestas e Clima

Essas descobertas revelam a grande diversidade dos contextos florestais nos países tropicais e reforçam a importância de desenvolver estratégias que sejam, ao mesmo tempo, ambiciosas em escala e adaptadas às realidades locais. Uma abordagem única não é suficiente. Os países diferem não apenas na extensão de suas florestas remanescentes e áreas desmatadas, mas também em seu potencial de restauração, estrutura econômica e capacidade institucional.

Diante disso, uma estratégia eficaz para florestas e clima precisa reconhecer essa diversidade e, ao mesmo tempo, aproveitar uma oportunidade comum: o papel crucial das florestas tropicais como uma solução imediata, acessível e de alto impacto para a mitigação das mudanças climáticas.

É a partir desse entendimento que o próximo capítulo analisa como políticas sob medida, mecanismos financeiros inovadores e a cooperação internacional podem transformar esse potencial em resultados concretos.



Conjunto de Instrumentos de Política Pública com Impacto em Floresta: Eficácia e Riscos Políticos

Diante da diversidade de contextos florestais e da necessidade de adoção de abordagens específicas, este capítulo analisa como diferentes instrumentos de política pública podem apoiar uma agenda florestal e climática diferenciada, capaz de gerar resultados concretos de conservação e restauração.

Em diferentes regiões tropicais, os governos vêm adotando, com graus variados de sucesso, iniciativas para reduzir o desmatamento, proteger as florestas remanescentes e promover a restauração em larga escala. Ao longo do tempo, consolidou-se um conjunto robusto de instrumentos — que combinam medidas regulatórias, incentivos econômicos e subsídios direcionados — adaptados aos desafios e oportunidades locais.

Este capítulo apresenta uma visão geral de instrumentos de política pública com impacto florestal, com foco naqueles que têm demonstrado eficácia em contextos tropicais. São destacados mecanismos de comando e controle, como o estabelecimento e gestão de áreas protegidas, a proteção de espécies ameaçadas e de seus habitats, além de políticas florestais e de uso da terra, incluindo regras de zoneamento e exigências legais de conservação em propriedades privadas. O capítulo também aborda incentivos econômicos e subsídios, como programas de pagamento por serviços ambientais (PSA), subsídios para aumentar a produtividade agrícola, crédito rural subsidiado e incentivos comerciais e de mercado.

As políticas apresentadas neste capítulo não constituem um catálogo exaustivo de intervenções possíveis, mas uma síntese dos principais mecanismos que já demonstraram impacto e oferecem lições para uma aplicação mais ampla. **O objetivo é conectar o potencial do nexo floresta-clima a caminhos concretos de política pública, destacando os instrumentos disponíveis e as escolhas estratégicas necessárias. Em conjunto, essas políticas evidenciam que o manejo florestal eficaz é viável e alcançável.**

No entanto, a eficácia das políticas públicas com impacto em floresta depende não apenas de seu desenho, mas também de um ambiente que favoreça sua implementação. Isso envolve fatores como clareza e segurança nos direitos de propriedade e posse da terra, articulação entre políticas de diferentes setores, arranjos institucionais coordenados, processos decisórios responsáveis e implementação consistente. Esses elementos determinam se os instrumentos regulatórios e os incentivos econômicos podem de fato gerar resultados concretos. Nesse contexto, o capítulo também analisa as condições favoráveis, como direitos sobre a terra bem definidos, para que as políticas tenham impacto positivo nas florestas.

Uma dimensão crítica dessa discussão é o reconhecimento de que as políticas públicas relacionadas às florestas estão profundamente interligadas aos ciclos políticos. As taxas de desmatamento costumam subir ou cair conforme mudam as prioridades políticas e as motivações eleitorais. Portanto, embora os instrumentos de política analisados neste capítulo tenham um potencial significativo, seu sucesso a longo prazo depende de estarem integrados a estruturas de governança estáveis e resilientes, capazes de resistir às flutuações políticas.

Panorama dos Instrumentos de Políticas Públicas e Evidências de Efetividade

Um conjunto diversificado e complementar de instrumentos de política pública foi desenvolvido em diferentes regiões para enfrentar o desmatamento e a degradação florestal, refletindo a complexidade da governança florestal e a variedade de fatores econômicos, legais e institucionais envolvidos. Esses instrumentos costumam ser enquadrados em duas grandes categorias: (i) instrumentos regulatórios e (ii) incentivos econômicos e subsídios (Figura 9).

Figura 9. Conjunto de Instrumentos com Impacto em Floresta

INSTRUMENTOS REGULATÓRIOS	INCENTIVOS ECONÔMICOS E SUBSÍDIOS
<ul style="list-style-type: none">▪ Estabelecimento e Gestão de Áreas Protegidas▪ Proteção de Espécies Ameaçadas ou em Risco▪ Uso da Terra e Proteção da Vegetação Nativa▪ Monitoramento, Fiscalização e Sanção	<ul style="list-style-type: none">▪ Pagamento por Serviços Ambientais▪ Subsídios à Produtividade Agrícola▪ Crédito Rural Subsidiado▪ Incentivos Comerciais e de Mercado

Fonte: CPI/PUC-Rio, 2025

Instrumentos Regulatórios

No contexto das florestas, os mecanismos de comando e controle referem-se a leis, regulamentos e demais normas vinculantes estabelecidas pelos governos para disciplinar o uso da terra, o manejo e a conservação florestal. Esses instrumentos definem o que é permitido, restrito ou proibido e seu descumprimento gera sanções, como multas, embargos ou perda de direitos. Em geral, contam com sistemas de monitoramento que permitem detectar violações e orientar as ações de fiscalização.

A abordagem de comando e controle pode assumir diferentes formas, dependendo do contexto jurídico e institucional. Entre elas estão o estabelecimento e gestão de áreas protegidas, a proteção de espécies ameaçadas e de seus habitats, políticas florestais e de uso da terra — que estabelecem tanto as condições para a supressão da vegetação quanto as obrigações de conservação e restauração em terras públicas e privadas —, além de instrumentos voltados ao cumprimento da lei, que se baseiam em monitoramento, fiscalização e aplicação de sanções para assegurar sua efetividade.

Estabelecimento e Gestão de Áreas Protegidas

O estabelecimento e a gestão de áreas protegidas é um dos instrumentos de política pública mais utilizados para reduzir o desmatamento. As áreas protegidas consistem em zonas geograficamente delimitadas, estabelecidas por instrumentos legais ou outros mecanismos eficazes, destinadas à conservação da biodiversidade e à manutenção de serviços ecossistêmicos, resguardando atributos naturais de valor ecológico, biológico ou cultural. Sua eficácia geralmente decorre da combinação entre maior monitoramento e a força dissuasória de regras mais restritivas de proteção e punição.

Na Amazônia brasileira, a proteção florestal se dá pelo aumento do monitoramento, que eleva a probabilidade de detecção de infrações ambientais, associado a um arcabouço legal que prevê sanções mais severas para crimes cometidos em áreas protegidas. Isso aumenta o custo do desmatamento ilegal em relação a outras áreas, desestimulando os infratores a atuarem nas áreas protegidas. Embora essa estratégia reduza significativamente as taxas de desmatamento em regiões de alta pressão, ela pode acabar deslocando a supressão de vegetação para as áreas não protegidas, em vez de eliminá-la totalmente (Gandour 2018). Evidências de outros países reforçam o efeito protetivo das áreas protegidas. Na Costa Rica, a rede nacional de áreas protegidas reduziu o desmatamento em cerca de 10% (Andam et al. 2008). Joppa e Pfaff (2010), analisando 147 países, verificaram que, em 75% dos casos, a proteção reduziu a conversão de florestas em outros usos da terra. Na Amazônia peruana, Miranda et al. (2016) mostram que restrições ao uso da terra dentro das zonas protegidas contribuíram para reduzir o desmatamento. A eficácia varia conforme o regime de proteção: Nelson e Chomitz (2011) identificaram que, na América Latina e no Caribe, as áreas estritamente protegidas reduziram a incidência de incêndios — um indicador de desmatamento — em 3% a 4%, enquanto as áreas de uso múltiplo reduziram em 5% a 6%, e os territórios indígenas, em 16% a 17%.

As terras indígenas se destacam como altamente eficazes na proteção florestal, mesmo em contextos de forte pressão de desmatamento. Nolte et al. (2013) evidenciam seu forte efeito dissuasório na Amazônia brasileira, enquanto Baragwanath, Bayi e Shinde (2023) mostram que esses territórios não apenas reduzem o desmatamento, mas também favorecem a regeneração de florestas secundárias em terras previamente desmatadas. Sze et al. (2022) ampliam essa evidência para toda a região tropical, constatando que as terras indígenas evitam o desmatamento em taxas comparáveis às de outras áreas protegidas, com eficácia ainda maior na África.

O contraste com as terras públicas não designadas, isto é, sem destinação específica, é marcante. No Brasil, essas áreas são particularmente vulneráveis ao desmatamento ilegal e à grilagem de terras, conforme demonstrado por Azevedo-Ramos e Moutinho (2018) e por Azevedo-Ramos et al. (2020). Essas evidências ressaltam o papel fundamental da proteção legal e de direitos de uso e propriedade bem definidos na prevenção da perda florestal, bem como a importância das áreas protegidas como componente essencial de uma governança florestal eficaz.

Proteção de Espécies Ameaçadas ou em Risco

As regulamentações de proteção de espécies ameaçadas ou em risco proíbem a caça e protegem de seus habitats — medidas que, por consequência, também contribuem para a conservação das florestas.

Instrumentos regulatórios também são usados para proteger a biodiversidade, de forma ampla, e a fauna silvestre, em particular. Na Tailândia, os santuários de vida silvestre — áreas protegidas criadas especificamente para conservar espécies ameaçadas ou em risco e seus habitats — e os parques nacionais aumentam significativamente a cobertura florestal, além do tamanho e a conectividade das áreas de floresta (Sims 2014). Essas áreas apresentaram crescimento tanto no tamanho médio das manchas florestais quanto na extensão das maiores áreas contínuas de floresta remanescente. Comparações entre os dois tipos de áreas protegidas mostram que os santuários de vida silvestre são mais eficazes do que os parques nacionais para proteger as florestas em áreas centrais (em oposição às bordas) e para evitar a fragmentação, que ocorre quando as florestas são subdivididas em áreas menores e isoladas.

Uso da Terra e Proteção da Vegetação Nativa

As políticas florestais e de uso da terra impõem limitações que vão desde a proteção integral das florestas até a autorização para convertê-las em outros usos do solo. Assim, definem onde e como as atividades econômicas podem ocorrer — especialmente a agropecuária. Bruggeman, Meyfroidt e Lambin (2015) analisam uma lei de zoneamento em Camarões que dividiu as áreas de floresta em zonas florestais permanentes (*Permanent Forest Estate* - PFE) e não permanentes (*Non-permanent Forest Estate* - NPFE). A PFE inclui tanto florestas destinadas à proteção quanto à produção, enquanto a NPFE abrange áreas que podem ser desmatadas ou manejadas pelas populações locais por meio de florestas comunitárias. Os resultados mostram que o zoneamento do uso da terra reduziu de forma significativa o desmatamento na PFE, indicando que as unidades de produção florestal podem ser um instrumento eficaz de controle do desmatamento.

No Brasil, o Código Florestal é o principal marco legal que regula o uso da terra em propriedades rurais privadas. Ele estabelece obrigações de conservação da vegetação nativa por meio de dois instrumentos: a Reserva Legal (RL), que exige a manutenção de uma porcentagem mínima de cobertura florestal no imóvel rural — 80% na Amazônia e 20% nos demais biomas —, e Áreas de Preservação Permanente (APPs), destinadas à proteção dos recursos hídricos, à prevenção da erosão do solo e à conservação de outras áreas ambientalmente sensíveis. Soares-Filho et al. (2014) estimam que esses dois instrumentos protegem 193 ± 5 Mha de vegetação nativa, contendo 87 ± 17 GtCO₂. Os autores destacam que, embora o Código Florestal tenha imposto restrições severas ao desmatamento em propriedades privadas, sua aplicação tem se mostrado desafiadora, especialmente na Amazônia. O descumprimento da lei resultou em passivos ambientais tanto em APPs quanto em Reserva Legais, cuja recomposição é de responsabilidade do proprietário. Os autores estimam que o passivo vegetação nessas áreas seja cerca de 21 ± 1 Mha e que a sua regularização por meio da restauração florestal poderia sequestrar até 9 ± 2 GtCO₂. Nesse contexto, o Código Florestal exemplifica tanto o potencial transformador quanto os desafios de implementação de instrumentos regulatórios voltados para a conservação florestal e ao uso sustentável da terra em larga escala.

Monitoramento, Fiscalização e Sanção

Um subconjunto de instrumentos de comando e controle são usados para assegurar o cumprimento das leis e regulamentos ambientais. **Isso inclui sistemas de monitoramento — muitas vezes baseados em tecnologias avançadas, como satélites — e ações de fiscalização e punição, como imposição de multas e outras sanções por desmatamento ilegal. Essas abordagens são especialmente relevantes em contextos de capacidade institucional reduzida, nos quais o efeito dissuasório é decisivo para influenciar as decisões de uso da terra.**

Os avanços tecnológicos aumentaram a eficácia das ações de fiscalização. O Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real (Deter), que processa imagens de satélite e emite alertas de desmatamento quase em tempo real, tem desempenhado um papel fundamental no direcionamento da fiscalização ambiental no Brasil. Ao permitir que as autoridades concentrem esforços nas áreas indicadas pelos alertas na Amazônia, o DETER ajudou a superar deficiências na aplicação da lei. Assunção, Gandour e Rocha (2023) mostram que, entre 2006 e 2016, o uso do sistema reduziu o desmatamento em nível municipal em 25%. Evidências complementares de Assunção et al. (2023) indicam que a criação de uma “lista de municípios prioritários” para monitoramento e fiscalização ambiental reduziu o desmatamento em 43%, com efeitos positivos que se estenderam a áreas vizinhas. Esses resultados ilustram como a fiscalização direcionada — especialmente quando combinada com uma dissuasão efetiva — pode alcançar reduções substanciais no desmatamento.

De fato, sistemas de monitoramento e alerta florestal quase em tempo real, baseados em imagens de satélite, têm contribuído para rastrear o desmatamento em escala global. Um exemplo é o Global Forest Watch (GFW), plataforma que disponibiliza dados abertos sobre desmatamento e cobertura florestal em todo o mundo. Em entrevistas realizadas em Madagascar, Indonésia, Bolívia e Peru, Musinsky et al. (2018) constataram que o uso dessas ferramentas contribuiu significativamente para melhorar a capacidade de organizações de conservação e gestão florestal de responder a incêndios, desmatamento e outras atividades ilegais ou indesejáveis, bem como reduzir seus impactos.

No Brasil, o MapBiomas Alerta, sistema que valida e refina alertas de desmatamento da vegetação nativa em todos os biomas, a partir de imagens de alta resolução, também contribui para esses esforços. Desde 2020, o governo de Goiás adotou essa ferramenta no combate ao desmatamento ilegal. De acordo com a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Goiás (Semad/GO), os alertas têm possibilitado um monitoramento mais eficaz (Cardoso et al. 2024).

Incentivos Econômicos e Subsídios

Ao contrário das abordagens de comando e controle, que se baseiam em obrigações legais e sanções, os incentivos econômicos e subsídios são concebidos para estimular a conservação florestal, ao alterar as condições econômicas sob as quais as decisões de uso da terra são tomadas. Eles buscam mudar o cálculo de custo-benefício dos usuários da terra, oferecendo incentivos positivos para conservar as florestas em vez de convertê-las para outros usos. Exemplos incluem programas de PSA, subsídios que promovem a intensificação agrícola, crédito rural subsidiado e incentivos comerciais e de mercado.

Pagamentos por Serviços Ambientais

Os programas de PSA oferecem incentivos financeiros para que os proprietários de florestas mantenham suas florestas em pé. Os pagamentos são condicionados a comportamentos voluntários pró-meio ambiente, como conservar a biodiversidade, sequestrar carbono e manter a qualidade da água. Um aspecto essencial nesse contexto é o monitoramento e a fiscalização contínuos das condições para a transferências dos recursos. Muitos casos demonstraram o forte potencial desses programas para reduzir o desmatamento.

Por exemplo, Jayachandran et al. (2017) mostram que os contratos PSA em Uganda, que ofereciam pagamentos anuais por hectare conservado a famílias proprietárias de florestas, reduziram significativamente o desmatamento sem deslocá-lo para áreas vizinhas. Da mesma forma, Arriagada et al. (2012) documentam que o programa PSA da Costa Rica aumentou a cobertura florestal em imóveis rurais entre 11% e 17%.

Outros estudos ressaltam a importância do contexto local: Alix-Garcia et al. (2015) observaram que um programa de PSA no México, que remunerava proprietários pela proteção da floresta, reduziu a perda esperada de cobertura vegetal em 40% a 51%, sendo mais eficaz em áreas com menores índices de pobreza. Wong et al. (2023) mostram que um programa de PSA no Brasil conseguiu manter a cobertura florestal em comunidades rurais acima de 80%, e que o mecanismo subjacente para a redução do desmatamento foi o aumento das denúncias de desmatamento ilegal. Por fim, Moros et al. (2023) constatam que os ganhos de conservação na Colômbia persistiram mesmo após o término dos pagamentos, sugerindo que, quando bem estruturados, os programas de PSA podem ter impactos duradouros.

Subsídios à Produtividade Agrícola

Subsídios destinados a aumentar a produtividade agrícola — por exemplo, o fornecimento de fertilizantes, sementes de alto rendimento ou capacitação — também têm se mostrado promissores na redução do desmatamento. O mecanismo subjacente é que o aumento da produtividade pode reduzir a necessidade de expansão da fronteira agrícola, especialmente em áreas de pequena escala, diminuindo assim a pressão sobre a floresta.

Um programa de subsídio a fertilizantes e sementes no Malawi reduziu a pressão pela expansão agrícola, ao melhorar a produtividade das terras já cultivadas (Abman e Carney 2020). Essa política, voltada ao aumento da produtividade em imóveis rurais pequenos, gerou efeitos ambientais positivos. Evidências semelhantes foram observadas em Uganda (Abman et al. 2023) e na Zâmbia (Pelletier et al. 2020), onde os esforços de intensificação agrícola — por meio de capacitação e subsídios a sementes e fertilizantes de melhor qualidade, respectivamente — foram associados a menores taxas de desmatamento. Esses casos destacam a importância de integrar metas de conservação às políticas de desenvolvimento agrícola.

Crédito Rural Subsidiado

O crédito rural é um dos principais instrumentos usados por governos de países em desenvolvimento para apoiar a agropecuária. Como a expansão agrícola é um dos principais vetores do desmatamento, vincular o crédito rural subsidiado a requisitos ambientais rigorosos é uma estratégia eficaz para contê-lo.

Assunção et al. (2020) mostram que a vinculação do crédito rural subsidiado na Amazônia brasileira a requisitos ambientais mais restritivos foi eficaz na redução do desmatamento. Os autores avaliam o impacto de uma política de crédito estabelecida pelo Banco Central do Brasil, que condicionou a concessão de crédito rural subsidiado na Amazônia à comprovação do cumprimento de cadastramento do imóvel rural no órgão fundiário competente e das regulamentações ambientais. As estimativas indicam que a área total desmatada durante o período do estudo foi cerca de 60% menor do que teria sido na ausência da política.

Incentivos Comerciais e de Mercado

Instrumentos comerciais e de mercado utilizam a força dos mercados para promover conservação. Exemplos incluem políticas de cadeias produtivas de desmatamento zero, voluntárias ou obrigatórias; esquemas de certificação; e políticas comerciais que condicionam o acesso ao mercado ao cumprimento de padrões ambientais. Essas medidas podem ampliar os esforços de conservação conduzidos pelo Estado, ao alinhar os interesses econômicos com objetivos de sustentabilidade.

Nesse contexto, Heilmayr et al. (2020) avaliam a Moratória da Soja na Amazônia brasileira — um acordo entre comerciantes de grãos para não comprar soja cultivada em áreas desmatadas após 2008. Os autores identificam reduções significativas no desmatamento associadas à política, especialmente nos casos em que sua aplicação foi reforçada pelo registro das propriedades no Cadastro Ambiental Rural (CAR) e por sistemas de monitoramento.

Esquemas de certificação também contribuem para a conservação florestal e a redução do desmatamento. O Conselho de Manejo Florestal (*Forest Stewardship Council* - FSC) é um sistema voluntário de certificação que promove o manejo sustentável das florestas por meio de práticas como corte seletivo e melhoria do manejo do fogo. Essas certificações podem gerar um prêmio de preço ou benefícios reputacionais para os produtores de madeira. Miteva, Loucks e Pattanayak (2015) mostram que as concessões florestais certificadas pelo FSC na Indonésia reduziram o desmatamento em 5% em comparação com as concessões não certificadas, ressaltando como mecanismos de mercado podem alinhar interesses comerciais com conservação florestal.

Condições Favoráveis: Direitos sobre a Terra Bem Definidos e Seguros

Como mostrado anteriormente, instrumentos regulatórios, incentivos econômicos e subsídios podem gerar resultados efetivos na redução do desmatamento. No entanto, esforços adicionais são necessários para criar condições favoráveis à implementação e efetividade desses mecanismos. Em particular, **reformas estruturais na governança fundiária, como políticas que definam e assegurem direitos sobre a terra, têm papel crucial para remover barreiras persistentes que comprometem os resultados de conservação e restauração.**

Quando os direitos sobre a terra são claros e seguros, os usuários têm mais confiança e incentivos para investir em práticas de manejo sustentável da terra. Sem essa garantia, há risco de exploração excessiva dos recursos, diante da frágil responsabilização. Medidas como demarcação, registro e certificação fortalecem a segurança fundiária, favorecendo a intensificação do uso da terra e reduzindo a pressão para desmatar novas áreas. Além disso, a resolução de conflitos, a delimitação das fronteiras e a formalização de direitos de uso reduzem os custos de transação e estimulam a cooperação, tornando mais efetiva a gestão compartilhada de recursos comuns, como as florestas.

Experiências internacionais reforçam essa importância. Um programa de cadastro fundiário no Benin, que formalizou os direitos consuetudinários à terra para aumentar a produtividade agropecuária e apoiar o manejo florestal comunitário, reduziu o desmatamento em cerca de 20% ao ampliar a segurança da posse (Wren-Lewis et al. 2020). A titulação de territórios indígenas na Amazônia peruana reduziu significativamente tanto o desmatamento quanto a degradação florestal (Blackman et al. 2017). De modo semelhante, a demarcação plena de territórios indígenas na Amazônia brasileira também levou à queda expressiva do desmatamento (Baragwanath e Bayi 2020). Esses resultados mostram que direitos sobre a terra — formais e coletivos — podem ser instrumentos eficazes para conter o desmatamento.

Uma meta-análise de mais de 30 estudos sobre a relação entre direitos fundiários e desmatamento em florestas tropicais concluiu que a segurança da posse está associada à redução do desmatamento, independentemente da forma de acesso à terra (Robinson et al. 2014). Na Indonésia, o status legal da terra influencia diretamente as práticas de uso do solo: em áreas com direitos frágeis, a probabilidade de desmatamento por fogo é maior, evidenciando a importância de direitos claros e seguros em escala de paisagem (Balboni et al. 2024).

Riscos Políticos

O desmatamento está profundamente entrelaçado com ciclos políticos e incentivos, que podem tanto mitigar quanto agravar a perda florestal, dependendo do contexto. Diversos estudos ilustram como dinâmicas eleitorais e instabilidade política moldam as decisões de uso da terra, muitas vezes comprometendo os ganhos de conservação.

Na Indonésia, por exemplo, os incêndios florestais diminuem em anos eleitorais, pois podem prejudicar as chances de reeleição (Balboni et al. 2021). No entanto, as taxas de desmatamento aumentam no ano que antecede as eleições para chefe distrital (Cisneros, Kis-Katos e Nuryartono 2021). Há evidências semelhantes no Brasil, onde o desmatamento em anos eleitorais foi maior em municípios cujos prefeitos concorreram à reeleição, em comparação aos municípios onde o prefeito não buscava novo mandato, refletindo o uso político dos recursos florestais para fins eleitorais (Pailler 2018).

Para além dos ciclos eleitorais, os riscos políticos também decorrem de mudanças nas estruturas de governança e de comportamentos voltados à promoção de benefícios, quando agentes públicos manipulam sistemas econômicos ou políticos para obter vantagens pessoais sem gerar riqueza para a sociedade. Burgess et al. (2012) mostram que, na Indonésia, quando políticos perdem poder em decorrência da divisão de distritos, as taxas de desmatamento ilegal aumentam — e apontam a possibilidade de que tais atividades sejam facilitadas por essas próprias autoridades. Por outro lado, quando eles têm acesso a fontes alternativas de renda, como a exploração de petróleo e gás, os custos políticos de serem flagrados em atividades ilegais no setor florestal tornam-se mais altos, o que contribui para reduzir o desmatamento.

Outro exemplo da conexão entre política e desmatamento é o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm), criado em 2004 pelo governo brasileiro para coordenar ações de monitoramento, fiscalização e ordenamento territorial na região. Bragança e Dahis (2022) analisam como o plano afetou as dinâmicas de poder local e mostram que seus efeitos foram maiores em municípios governados por políticos que também eram produtores rurais, evidenciando como políticas ambientais podem alterar os incentivos políticos em nível local, e, assim, ampliar seus impactos socioambientais.

Em conjunto, essa literatura evidencia que o desmatamento é altamente suscetível a ciclos políticos, à instabilidade institucional e aos incentivos das elites locais. Disso decorre uma necessidade crítica: as políticas públicas não devem ser desenhadas apenas para a eficácia técnica, mas também para a resiliência política. Proteger os esforços de conservação das pressões políticas de curto prazo — seja por meio do controle e fiscalização por instituições independentes, do fortalecimento dos marcos legais ou do alinhamento de incentivos econômicos à gestão florestal de longo prazo — é essencial para garantir resultados duradouros.



O Mecanismo de Reversão do Desmatamento (RDM)

Os capítulos anteriores ressaltaram tanto a magnitude da agenda florestal quanto a diversidade dos desafios enfrentados pelos países com florestas tropicais. Além de armazenar grandes quantidades de carbono, as florestas tropicais apresentam um potencial excepcional para o sequestro de CO₂ em larga escala por meio da restauração florestal. Embora existam políticas eficazes de conservação e restauração — que já produziram resultados positivos em diversos contextos —, sua implementação continua desigual e vulnerável a mudanças políticas. Nesse contexto, **estabelecer uma arquitetura financeira sólida e de longo prazo é essencial para sustentar a ambição climática e incentivar os governos a gerenciar as florestas de forma eficaz.**

No início dos anos 2000, a inclusão das florestas no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) do Protocolo de Kyoto — o primeiro mecanismo multilateral de precificação de carbono — representou uma tentativa de reconhecer que as capturas de carbono provenientes do plantio de novas florestas podiam gerar créditos de carbono. No entanto, os projetos de proteção florestal foram excluídos dessa estrutura.

Em seus poucos anos de existência, o MDL conseguiu estabelecer um mercado internacionalmente reconhecido de compensação de carbono para atividades de reflorestamento e restauração, baseado na criação de ferramentas metodológicas para comprovar a adicionalidade dos projetos, em formas de contabilidade aprovadas internacionalmente para lidar com o risco de não permanência e em estruturas institucionais lideradas pela ONU.

No entanto, essa estrutura impôs ao MDL uma complexidade regulatória que limitou o número de projetos florestais. Entre as barreiras que levaram à subutilização do mecanismo, estavam os altos custos de transação e de financiamento, além da natureza temporária dos créditos de carbono oriundos de atividades florestais, o que impediu a fungibilidade dos créditos florestais no mercado de carbono. Isso culminou em restrições do lado da demanda, incluindo a exclusão dos créditos florestais dos maiores mercados compradores.

Atualmente, o **JREDD+** é a principal estrutura internacionalmente reconhecida para conter o desmatamento, tendo um histórico de acordos multilaterais. Mais recentemente, o **TFFF** foi proposto na COP28 para recompensar a manutenção das florestas em pé. Embora ainda esteja em discussão, o TFFF está ganhando força em fóruns internacionais. Juntamente com outras iniciativas, esses mecanismos abordam o desmatamento e a proteção florestal, mas não priorizam a restauração florestal, que continua sendo uma lacuna crítica.

Além disso, na COP28, o primeiro **Balanço Global** (*Global Stocktake – GST*) reafirmou que as florestas são indispensáveis para cumprir as metas de temperatura do Acordo de Paris. Os governos reconheceram a urgência de conservar, proteger e restaurar florestas e ecossistemas para deter e reverter o desmatamento até 2030. O artigo 33 estabelece a

decisão das partes de enfatizar “a importância de conservar, proteger e restaurar a natureza e os ecossistemas para alcançar a meta de temperatura do Acordo de Paris, incluindo por meio de **esforços redobrados para deter e reverter o desmatamento e a degradação florestal até 2030**”² (UNFCCC 2024, traduzido pelos autores). A decisão também enfatizou a prioridade em fornecer maior apoio financeiro, técnico e de capacitação, bem como destacou os benefícios não relacionados ao carbono das florestas, incluindo a conservação da biodiversidade, a resiliência dos ecossistemas e as salvaguardas sociais.

Nesse contexto, **o CPI/PUC-Rio propõe o Mecanismo de Reversão do Desmatamento (RDM)**, baseado na estrutura desenvolvida por Assunção, Hansen, Munson e Scheinkman (2025). O RDM visa compensar os países pelos resultados líquidos de captura de carbono — o carbono capturado por meio da restauração florestal subtraindo as emissões do desmatamento e da degradação — em nível jurisdicional.

O RDM visa suprir a lacuna financeira da restauração e complementar o JREDD+, o TFFF e outros mecanismos correlatos com intuito de formar uma estratégia flexível e escalável que possa ser adaptada a diversas circunstâncias nacionais. Este capítulo descreve seu conceito básico, requisitos de implementação e potencial para transformar florestas tropicais em ativos climáticos de alto impacto.

O Mecanismo

O RDM é um sistema de pagamento baseado em resultados, desenvolvido para ampliar a restauração florestal por meio de acordos jurisdicionais. Seu objetivo é criar incentivos baseados em resultados para que países com florestas tropicais restaurem ecossistemas e reduzam as emissões decorrentes do desmatamento e da degradação florestal.

Em sua essência, o mecanismo é estruturado como um acordo bilateral entre um comprador, normalmente um governo, instituição multilateral ou entidade privada, e uma jurisdição, como um governo nacional ou subnacional, responsável pela gestão florestal. O principal objetivo é gerar créditos de captura de carbono por meio da restauração florestal, com créditos calculados anualmente em base líquida. Essa métrica líquida leva em consideração a quantidade de CO₂ sequestrada por meio da restauração, subtraindo as emissões resultantes do desmatamento, da degradação florestal e das atividades agropecuárias dentro da jurisdição.

O mecanismo envolve um acordo de compra: o comprador se compromete a pagar um preço por cada tonelada verificada de CO₂ líquido capturado na jurisdição. Os créditos verificados acionam desembolsos que são direcionados para um fundo jurisdicional dedicado. Esse fundo pode ser usado para atividades que reforçam as metas climáticas e ecológicas do mecanismo, especificamente relacionadas à prevenção do desmatamento e da degradação florestal e ampliação dos esforços de restauração florestal, particularmente através de estratégias de regeneração natural e de uso sustentável da terra.

² Texto original: “the importance of conserving, protecting and restoring nature and ecosystems towards achieving the Paris Agreement temperature goal, including through enhanced efforts towards halting and reversing deforestation and forest degradation by 2030”.

Ao alinhar incentivos financeiros com resultados climáticos mensuráveis em nível jurisdicional, esse mecanismo oferece um modelo escalável e transparente para integrar a restauração florestal à arquitetura financeira climática global, complementando mecanismos como o JREDD+ e o TFFF e preenchendo a lacuna existente para florestas tropicais (Figura 10).

Figura 10. Comparação do Financiamento Florestal: JREDD+, TFFF e RDM

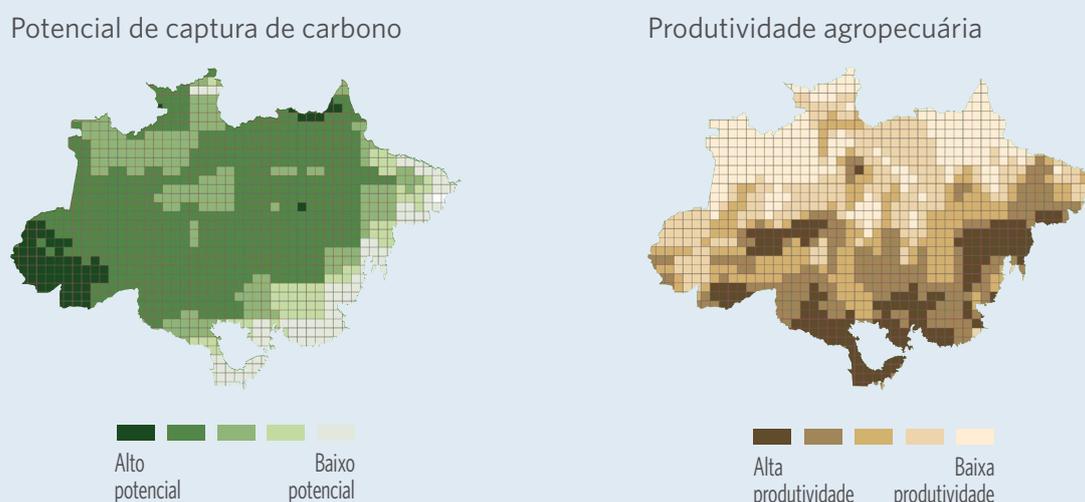
	JREDD+	TFFF	RDM
Objeto	Créditos de carbono provenientes do desmatamento evitado	Hectares de florestas em pé	Créditos provenientes da captura de carbono pela restauração florestal
Âmbito	Jurisdicional	Jurisdicional	Jurisdicional
Pagamentos	Baseados em resultados	Baseados em resultados	Baseados em resultados
Incentivos	Os créditos são pagos consoante uma linha de base, geralmente calculada a partir das taxas de desmatamento anteriores	Cada hectare desmatado implica o cancelamento do pagamento de 100 hectares	Os créditos são calculados em termos líquidos — o carbono proveniente da restauração florestal é subtraído das emissões decorrentes do desmatamento
Escala potencial	10 milhões de hectares de desmatamento anual	1,27 bilhão de hectares de florestas tropicais	186 milhões de hectares desmatados entre 2001 e 2023
Impacto potencial do carbono	3,77 GtCO ₂ perdidos anualmente	593 GtCO ₂ armazenados em florestas tropicais em 2023	49 GtCO ₂ de potencial de captura de carbono em áreas desmatadas entre 2001 e 2023, caso o processo seja totalmente revertido
Receitas potenciais	Até US\$ 32 bilhões se todo o desmatamento for interrompido	Cerca de US\$ 5 bilhões por ano a US\$ 4 por hectare de floresta	Até US\$ 100 bilhões se implementado com o valor de US\$ 50 por tonelada de CO ₂

Fonte: CPI/PUC-Rio, 2025

Simulando o Impacto do RDM para a Amazônia Brasileira

A Amazônia brasileira oferece um exemplo poderoso de como o RDM poderia trazer benefícios climáticos e econômicos. Em estudo recente, Assunção, Hansen, Munson e Scheinkman (2025) analisaram os impactos da implementação do RDM na região. A análise dos autores utiliza dados espaciais detalhados sobre o potencial de sequestro de carbono e as receitas agropecuárias em mais de 1.000 locais, com foco especial na pecuária — o uso da terra mais predominante em áreas desmatadas. A Amazônia apresenta altos níveis de heterogeneidade: alguns locais têm alto potencial de captura de carbono e baixa produtividade agropecuária, enquanto outros apresentam o padrão oposto (Figura 11). Essa variação é fundamental para entender onde e como a restauração florestal pode ser mais eficaz.

Figura 11. Parâmetros de Sequestro de Carbono e Heterogeneidade da Produtividade Agropecuária para a Amazônia Brasileira



Fonte: CPI/PUC-Rio baseado em dados de Assunção et al. (2025), 2025

A análise contém duas características principais:

- **Dinâmica detalhada do carbono:** o estudo modela como o carbono é emitido quando as florestas são desmatadas e como ele é sequestrado ao longo do tempo por meio da regeneração natural, uma vez que a pecuária seja removida da região. O sequestro de carbono é antecipado: mais de 60% do potencial total é capturado nos primeiros 30 anos, embora a floresta continue a sequestrar CO₂ por até um século. Esse prazo está alinhado com a urgência da agenda climática global.
- **Robustez diante de profundas incertezas:** o modelo incorpora não apenas as flutuações de preço nos mercados de pecuária, mas também a ambiguidade em torno de parâmetros-chave, como taxas de absorção de carbono e produtividade agropecuária. Essa abordagem garante que as conclusões não sejam excessivamente sensíveis a qualquer suposição isolada.

Os resultados são impressionantes. A um preço modesto de venda do carbono, o RDM poderia reverter a trajetória de carbono da Amazônia. Em vez de emitir aproximadamente 16 GtCO₂ ao longo de 30 anos, a região poderia capturar até 18 GtCO₂ por meio da regeneração natural em larga escala. A comercialização de créditos de carbono a US\$ 50 por tonelada de CO₂, valor muito inferior à taxa atual de mercado, renderia cerca de US\$ 30 bilhões anualmente, tornando a restauração o uso mais lucrativo da terra para vastas áreas atualmente dedicadas à pecuária de baixa produtividade.

Esses resultados destacam a natureza bidirecional do nexso floresta-clima: a Amazônia pode contribuir significativamente para as metas climáticas globais, enquanto o financiamento climático pode gerar oportunidades econômicas transformadoras em uma região que continua enfrentando desafios de desenvolvimento. Além disso, os resultados ilustram a magnitude do desafio que está por vir, uma vez que a concretização desse potencial depende dos países de alta renda impulsionarem a demanda por captura de carbono, mesmo enfrentando custos de mitigação consideravelmente mais elevados.

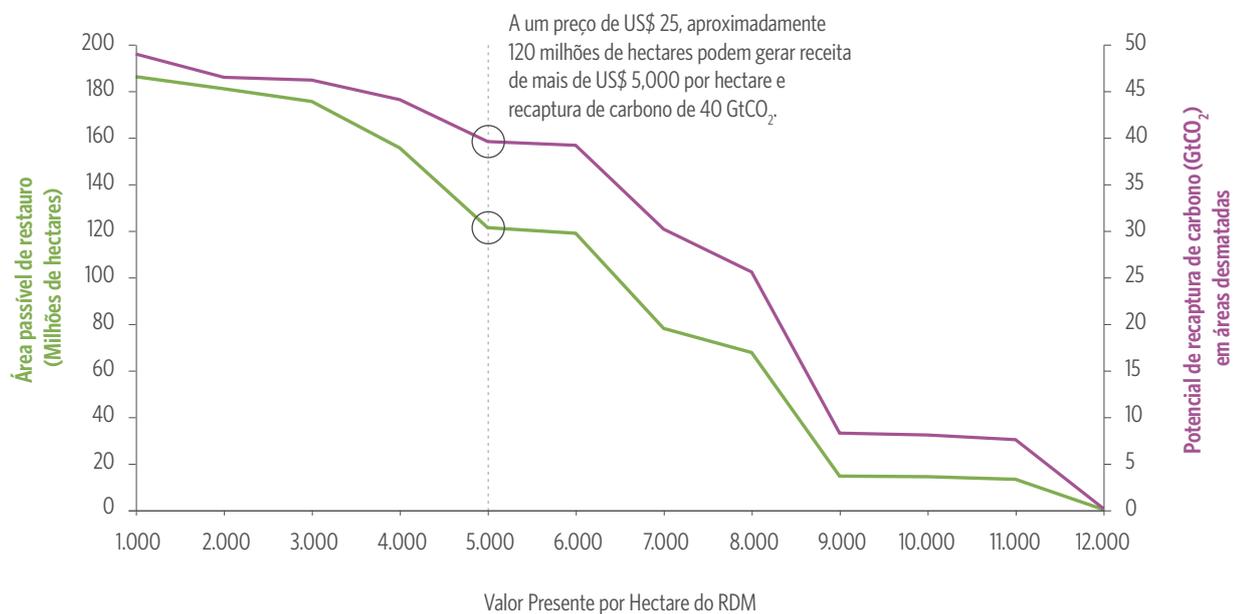
Simulação do Potencial do RDM

Para avaliar o potencial do RDM em proporcionar restauração florestal e sequestro de carbono em larga escala, os pesquisadores do CPI/PUC-Rio simularam um cenário em que mais de 180 milhões de hectares de terras tropicais desmatadas entre 2001 e 2023 foram colocados em restauração. Em seguida, calcularam o valor presente (VP) dos fluxos de renda futuros sob o RDM, usando estimativas em cada país do potencial de captura de carbono, assumindo a não ocorrência de desmatamento adicional. Dois cenários de preço de carbono foram considerados: US\$ 25 e US\$ 50 por tonelada de CO₂.

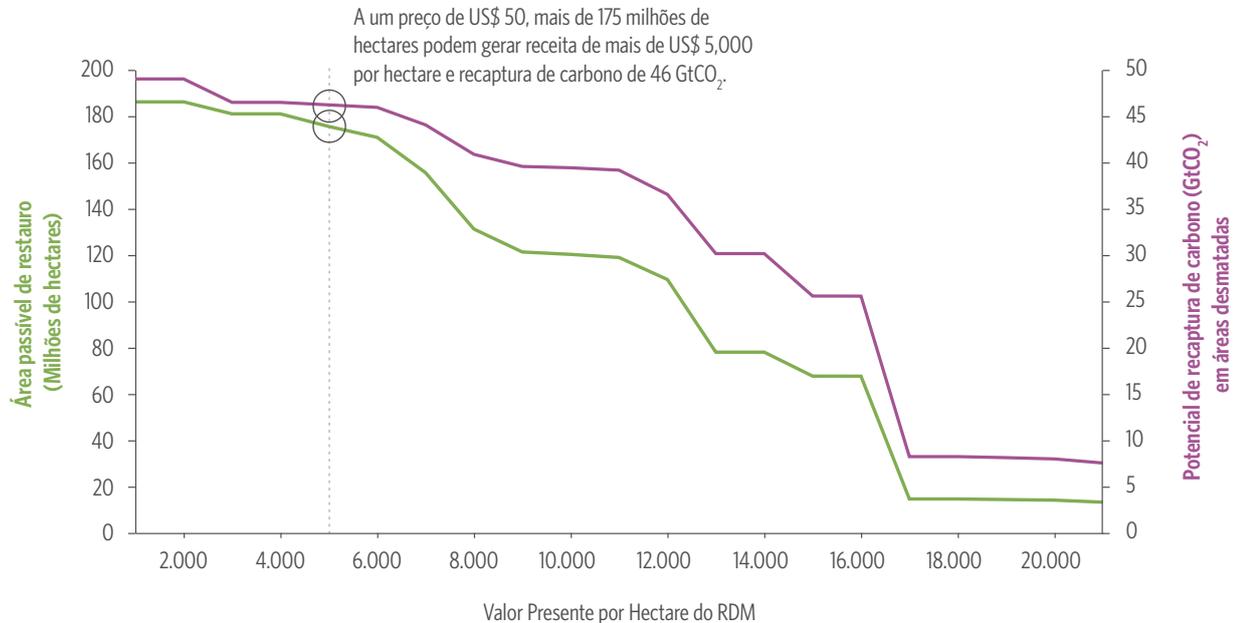
A métrica do VP permite a comparação direta com os preços locais das terras. Por exemplo, a Figura 12 mostra que, a um preço de carbono de US\$ 25, aproximadamente 120 milhões de hectares gerariam receitas superiores a US\$ 5.000 por hectare, tornando o RDM financeiramente viável em locais com preços de terra relativamente baixos. A US\$ 50 por tonelada, a área total para a qual o RDM geraria mais de US\$ 5.000 por hectare em receitas se expande para mais de 170 milhões de hectares. Isso ilustra o potencial do financiamento de carbono para impulsionar a restauração em larga escala, especialmente nos locais onde os custos de oportunidade são baixos.

Figura 12. Simulação dos Impactos Potenciais do RDM na Restauração Florestal e no Potencial de Captura de Carbono

12a. Valor Presente do RDM a **US\$ 25/tCO₂**



12b. Valor Presente do RDM a **US\$ 50/tCO₂**

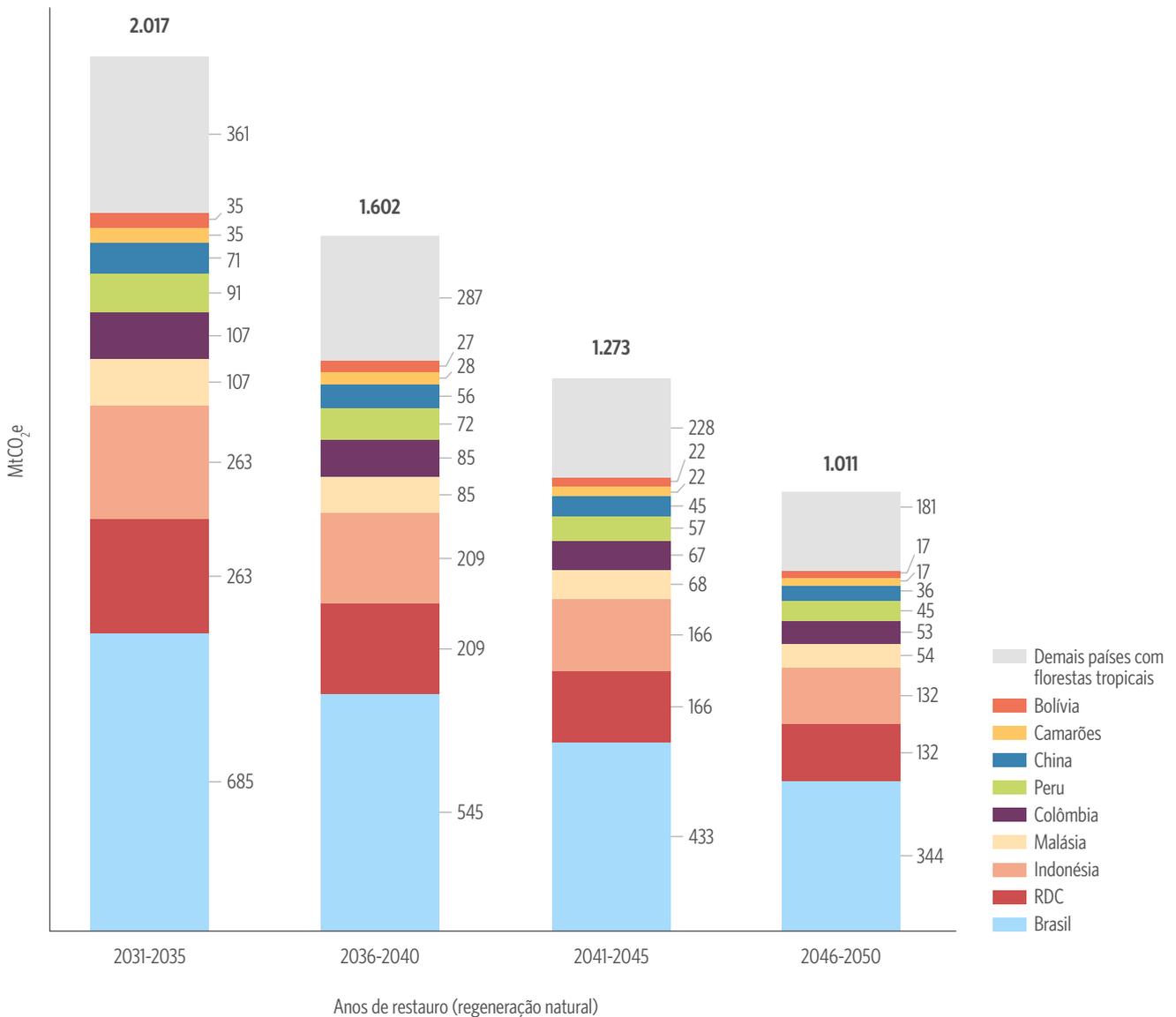


Fonte: CPI/PUC-Rio com dados de Hansen et al. (2013), CHIRPS (2023) e TerraClimate (2020), 2025

Para avaliar o momento e a relevância climática dessas capturas de carbono, a Figura 13 apresenta a projeção de sequestro anual de carbono por país, assumindo que a restauração total comece em 2031, conforme sugerido pelo Balanço Global da COP28. O modelo pressupõe que todos os países comecem a restauração imediatamente e em ritmo acelerado. As remoções diminuem com o tempo à medida que o crescimento da floresta e, portanto, a absorção de carbono diminui com a maturação do ecossistema.

A Figura 13 demonstra que, nos primeiros cinco anos (2031-2035), as florestas restauradas poderiam remover cerca de 2 GtCO₂ por ano. A US\$ 50 por tonelada, isso representa aproximadamente US\$ 100 bilhões em receitas anuais, ressaltando tanto a importância climática quanto o potencial financeiro da restauração em larga escala.

Figura 13. Simulação do Potencial Anual de Captura de Carbono do RDM

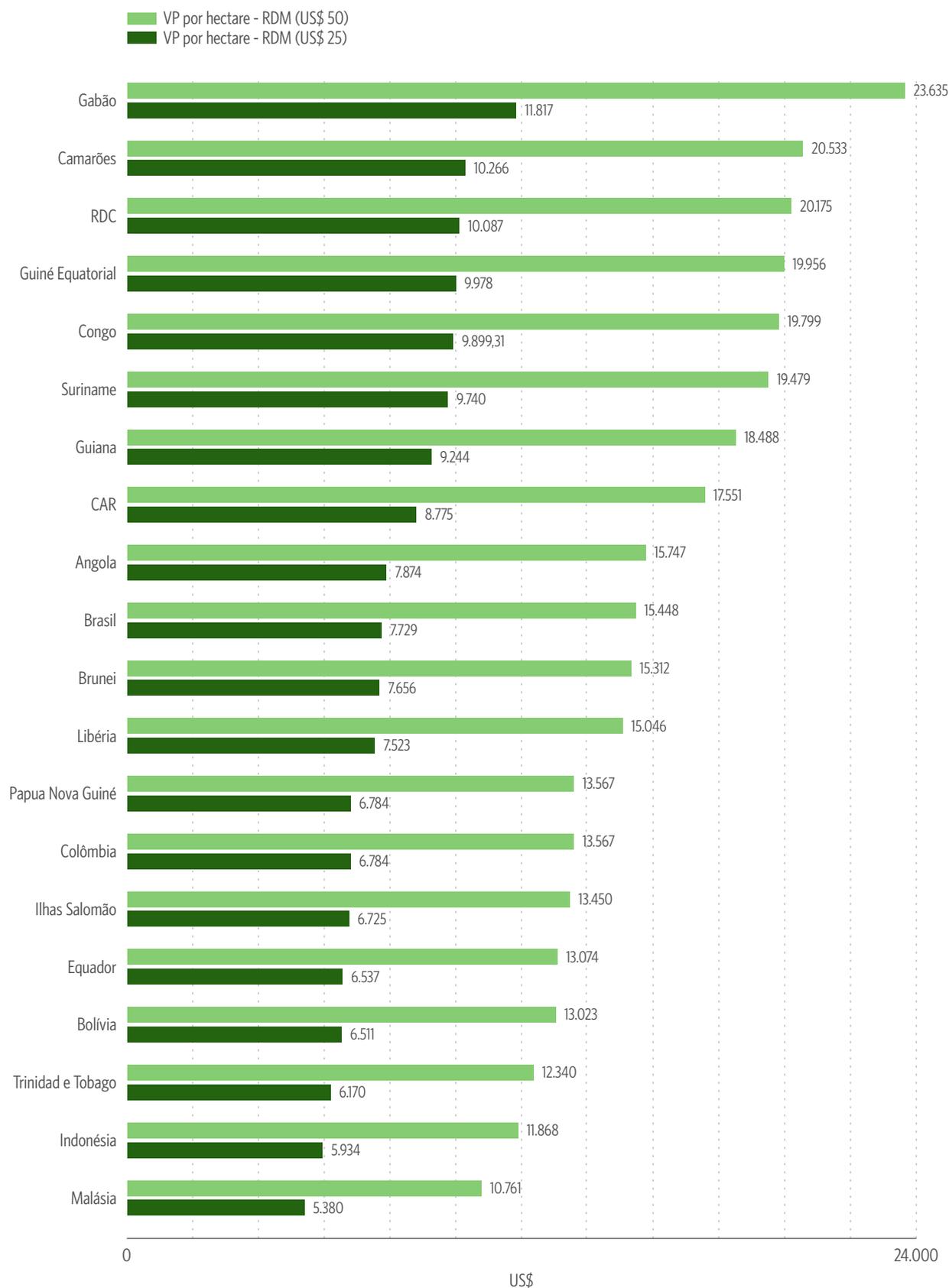


Fonte: CPI/PUC-Rio com dados de Hansen et al. (2013) - v1.11, 2023, CHIRPS (2023) e TerraClimate (2020), 2025

Dado o contexto diversificado dos países com florestas tropicais, é importante avaliar o potencial de captura de carbono entre os países. As florestas tropicais diferem significativamente em densidade de biomassa e capacidade de armazenamento de carbono, o que afeta diretamente a produtividade dos esforços de restauração sob o RDM. Alguns países são capazes de sequestrar substancialmente mais carbono por hectare, tornando a restauração mais atraente do ponto de vista econômico.

A Figura 14 apresenta o VP por hectare para os países com maior produtividade de captura de carbono em dois cenários de preço do carbono (US\$ 25 e US\$ 50 por tonelada de CO₂). Essas estimativas de VP por hectare oferecem uma referência útil quando comparadas aos preços locais das terras, ajudando a avaliar a viabilidade financeira e a atratividade da implementação do RDM em cada contexto nacional. Conforme indicado na classificação inicial dos países no capítulo dois, o RDM teria um impacto particularmente significativo para o Brasil, a Indonésia e a República Democrática do Congo.

Figura 14. Os 20 Países com o Maior Valor Presente do RDM por Hectare



*Consulte a lista completa dos países no Anexo 1 deste documento

*Ver lista completa de países no Anexo deste documento.

Fonte: CPI/PUC-Rio com dados de Hansen et al. (2013), CHIRPS (2023) e TerraClimate (2020), 2025

Requisitos de Implementação

A implementação bem-sucedida de mecanismos jurisdicionais de restauração florestal requer atenção cuidadosa ao desenho e aos princípios operacionais que garantam a integridade ambiental, a escalabilidade e o impacto de longo prazo. Esta seção descreve os elementos essenciais para alcançar impacto, juntamente com possíveis caminhos de implementação.

Abordagem Jurisdicional

A implementação da restauração florestal em nível jurisdicional, em vez de projetos isolados, oferece vantagens ecológicas e operacionais. Áreas maiores e contíguas reduzem a exposição a incêndios e aumentam a retenção de carbono a longo prazo. Elas também ajudam a evitar vazamentos de emissões em terras vizinhas, o que é um desafio comum em intervenções de menor escala.

As ameaças à integridade florestal estão frequentemente associadas a *efeitos de borda*. A fragmentação florestal aumenta a probabilidade de incêndios e outros processos de degradação. No entanto, áreas florestais maiores e contíguas contribuem para a integridade do ecossistema e a retenção de carbono a longo prazo.

Do ponto de vista da fiscalização, a implementação jurisdicional permite economias de escala substanciais. A experiência do Brasil com o sistema de monitoramento por satélite, o Deter, ilustra esse ponto: ao permitir ações de fiscalização rápidas, o Deter ajudou a evitar mais de 10 GtCO₂ de emissões a um custo inferior a US\$ 1 por tonelada (Assunção, Gandour e Rocha 2023). Esses resultados destacam o potencial das abordagens jurisdicionais para produzir resultados climáticos de alto impacto e custo-benefício.

Contabilidade de Carbono

Um sistema de contabilidade de carbono robusto e amplamente aceito é essencial para garantir a credibilidade e a eficácia do RDM. Esse sistema deve ser capaz de rastrear os fluxos de carbono em todas as jurisdições com alto grau de precisão e a um custo razoável. Aproveitar as tecnologias de sensoriamento remoto e os dados de satélite, bem como as crescentes iniciativas de Infraestrutura Pública Digital (*Digital Public Infrastructure - DPI*), é fundamental para atingir esse objetivo, permitindo o monitoramento consistente e de baixo custo de vastas áreas florestais.

Uma característica que define a contabilidade de carbono do RDM é sua abordagem baseada no saldo líquido. Em vez de creditar apenas o sequestro bruto de carbono, o mecanismo leva em consideração o saldo líquido de carbono dentro de cada jurisdição. Esse saldo é calculado como o carbono sequestrado por meio da regeneração florestal menos as emissões decorrentes do desmatamento, da degradação florestal e das atividades agropecuárias. Ao vincular os pagamentos aos resultados líquidos, essa abordagem garante que as jurisdições sejam recompensadas pelos esforços de restauração, ao mesmo tempo em que enfrentam um claro desincentivo ao desmatamento. O resultado é a criação de uma estrutura de incentivos coerente, alinhada tanto à mitigação das mudanças climáticas quanto à integridade do uso da terra.

Ampliação através de Acordos Internacionais

Ampliar a restauração florestal para atingir as metas climáticas globais exige fluxos financeiros grandes, estáveis e previsíveis, algo que os mercados voluntários de carbono provavelmente não conseguirão oferecer na escala necessária. Em contrapartida, os mercados regulados de carbono oferecem a profundidade e a confiabilidade necessárias, mas até agora permaneceram amplamente fechados aos créditos internacionais devido a preocupações com a integridade ambiental, atrasos na mitigação doméstica e equidade.

A estrutura de contabilidade de carbono do RDM aborda diretamente muitas dessas preocupações. **Ao emitir créditos em uma base líquida, contabilizando tanto o sequestro de carbono por meio da regeneração florestal quanto as emissões decorrentes do desmatamento e das atividades de uso da terra, o RDM garante que os créditos reflitam benefícios climáticos reais, adicionais e verificáveis.** Essa estrutura não apenas recompensa a restauração florestal, mas também impõe um custo direto para o desmatamento, aumentando tanto a responsabilidade quanto a credibilidade ambiental.

Essas características tornam o RDM particularmente adequado para a integração em mercados internacionais. De acordo com o Artigo 6 do Acordo de Paris, os países podem se envolver na transferência de Resultados de Mitigação Transferíveis Internacionalmente (*Internationally Transferable Mitigation Outcomes* - ITMOs). Os créditos de carbono florestal de alta integridade gerados por meio de programas jurisdicionais do RDM poderiam atender a esse padrão, liberando o acesso à demanda em escala, mantendo a integridade das metas climáticas nacionais e internacionais.

Assunção, Hansen, Munson e Scheinkman (2025) demonstram os ganhos potenciais de eficiência: embora não seja diretamente comparável à captura, o custo atual de uma licença (equivalente a uma tonelada de CO₂) no Sistema de Comércio de Emissões da União Europeia (*European Union's Emissions Trading System* - EU ETS) — que recentemente tem sido negociado a uma média de cerca de US\$ 80 (EU\$ 70) — poderia financiar a captura de pelo menos três toneladas por meio do reflorestamento na Amazônia brasileira. Isso ilustra como o uso de créditos internacionais pode reduzir os custos de conformidade para países de alta renda, ao mesmo tempo em que amplia a ambição de mitigação.

Para jurisdições tropicais, o acesso aos mercados internacionais se traduziria em financiamento previsível e baseado em resultados para apoiar a restauração em larga escala, fortalecer a fiscalização e promover o desenvolvimento inclusivo. Longe de ser uma brecha, os créditos internacionais de alta integridade oferecem um caminho para trazer mais resultados, com maior rapidez e melhor custo-benefício — ao mesmo tempo em que canalizam o financiamento climático para os países que estão mais bem posicionados para entregar resultados.

Diante de prazos climáticos cada vez mais curtos, excluir oportunidades confiáveis de mitigação dos mercados regulamentados acarreta um custo global. O RDM pode ajudar a preencher essa lacuna, alinhando sistemas de contabilidade robustos com a arquitetura financeira necessária para ampliar as soluções climáticas.

Permanência

Garantir a permanência do sequestro de carbono é um dos principais desafios dos mecanismos de carbono baseados em florestas. À medida que as florestas restauradas amadurecem, a taxa de absorção de carbono diminui naturalmente, resultando na emissão de menos créditos novos. Essa dinâmica gera um problema de consistência temporal: jurisdições que inicialmente se comprometeram com a restauração podem posteriormente considerar economicamente vantajoso retornar ao desmatamento, especialmente quando os pagamentos diminuem. Além dessas pressões econômicas, incêndios florestais e desmatamento ilegal permanecem como ameaças constantes que podem comprometer o armazenamento de carbono a longo prazo e a integridade ambiental do mecanismo.

Scheinkman (2024) examina essa questão no contexto da Amazônia brasileira, mostrando que o fluxo de pagamentos sob o RDM atinge seu pico e depois diminui gradualmente à medida que as florestas atingem o equilíbrio de carbono. Embora a desistência seja improvável nos primeiros anos, o incentivo para abandonar a restauração torna-se positivo após cerca de quatro décadas, quando o valor presente líquido de usos alternativos da terra supera o valor da continuidade do cumprimento.

Para enfrentar esse desafio, o RDM deve incorporar salvaguardas explícitas de permanência, criando custos financeiros e institucionais para futuros governos que possam descumprir os compromissos de conservação. Duas abordagens complementares podem ser consideradas:

Fundo de Permanência: para cada crédito de carbono emitido sob o RDM, uma pequena taxa seria depositada em um fundo de permanência específico. Após 40 anos, quando os pagamentos regulares de créditos diminuíssem, o fundo recompensaria as jurisdições por meio de pagamentos, como os do TFFF, garantindo, assim, incentivos financeiros contínuos para a conservação. Scheinkman (2024) estima que a taxa exigida seria inferior a US\$ 3 por tonelada de CO₂, e os parâmetros resultantes do TFFF seriam suficientes para impedir a deserção.

Estrutura de empréstimos perdoáveis: conforme proposto por Harstad (2025), os pagamentos de carbono poderiam assumir a forma de empréstimos perdoáveis, em vez de subsídios ou pagamentos incondicionais. Os países receberiam financiamento inicial para a restauração, mas seriam obrigados a reembolsar o empréstimo no caso de as áreas restauradas serem posteriormente desmatadas. Enquanto as florestas permanecessem intactas, não haveria necessidade de reembolso. Essa abordagem utiliza as estruturas da dívida soberana para garantir o cumprimento e a permanência das ações no longo prazo. Se o mecanismo for implementado com taxa de juros zero, ele não aumentará o endividamento do país, pois os fundos recebidos só precisariam ser devolvidos em caso de desmatamento das áreas restauradas.

A incorporação de tais mecanismos de compromisso de longo prazo, sejam eles baseados em incentivos (*carrot*) ou em sanções (*stick*), é essencial para lidar tanto com os riscos econômicos decorrentes das mudanças no uso da terra quanto com os riscos físicos de incêndios ou degradação. Essas medidas são fundamentais para garantir a durabilidade e a credibilidade das reduções de emissões ao longo de várias décadas.

Viabilidade de Crédito de Longo Prazo

As jurisdições que participarem do RDM realizarão mudanças significativas no uso da terra, afastando-se de atividades como pecuária e cultivo agrícola em direção à restauração florestal em larga escala. Essas decisões envolvem custos econômicos irreversíveis em nível local, especialmente quando o uso da terra passa da agropecuária produtiva para a regeneração natural. Reverter esse processo costuma ser difícil e oneroso, assim é essencial que as jurisdições recebam garantias confiáveis de apoio financeiro contínuo ao longo do tempo.

Garantir a viabilidade do crédito a longo prazo é, portanto, um desafio duplo. Por um lado, é necessário mitigar os riscos de permanência, conforme discutido na seção anterior. Por outro lado, as jurisdições precisam ter confiança de que a demanda por créditos de captura de carbono permanecerá forte e previsível no futuro, especialmente após já terem comprometido terras e recursos para a restauração.

Isso enfatiza a importância de ancorar o RDM nos mercados internacionais de carbono, os quais podem oferecer a escala, a estabilidade e o apoio institucional necessários para assegurar a demanda de longo prazo. Sem essas garantias, os riscos econômicos e políticos de se comprometer com a restauração florestal podem superar os benefícios percebidos, prejudicando a eficácia do mecanismo.

Uso dos Recursos

Como um mecanismo baseado em resultados, o RDM deve proporcionar às jurisdições flexibilidade na alocação de fundos, permitindo o alinhamento com as prioridades nacionais e o respeito pelos processos políticos internos. Os rendimentos podem ser naturalmente utilizados para apoiar uma série de ações relacionadas com as florestas, incluindo a criação e manutenção de áreas protegidas, a aplicação de regulamentos ambientais, o apoio aos povos indígenas e às comunidades tradicionais e programas de conservação mais amplos.

Considerando a escala potencial das receitas em algumas jurisdições, os fundos podem ser integrados aos sistemas de finanças públicas existentes e alocados de acordo com as regras locais e as estruturas institucionais. Em muitos países com florestas tropicais, necessidades urgentes de desenvolvimento, como redução da pobreza, melhoria do acesso à educação e à saúde, segurança pública e infraestrutura urbana, competem por recursos escassos.

Garantir que as receitas do RDM contribuam de forma equilibrada para a proteção ambiental e o desenvolvimento socioeconômico ajuda a construir um apoio político mais amplo aos esforços de restauração florestal. Quando o financiamento climático baseado em florestas gera melhorias reais na vida das pessoas, o mecanismo ganha legitimidade e o compromisso com a conservação se fortalece.

Papel do Setor Privado

O setor privado pode desempenhar um papel significativo na restauração florestal. **No âmbito do RDM, as receitas de carbono podem ser direcionadas para atores privados que atuam como prestadores de serviços para atividades de restauração.** Em muitos contextos, especialmente no caso de paisagens degradadas ou fragmentadas, a implementação de abordagens de restauração ativa, como regeneração natural assistida, plantio de enriquecimento ou sistemas agroflorestais, podem ser mais eficazes do que depender apenas da regeneração natural das florestas. Contratar entidades privadas, cooperativas ou organizações comunitárias para desempenhar esses serviços pode aumentar a capacidade de implementação, incentivar a inovação e acelerar os resultados da restauração.

Além disso, há uma diferença significativa entre o custo da restauração florestal e os preços vigentes do carbono em mercados regulados. Essa diferença abre oportunidades para que atores do setor privado participem de acordos baseados em resultados ou modelos de financiamento misto que combinam os pagamentos do RDM com receitas de outras fontes.

Além dos mercados de carbono, o setor privado também pode desempenhar um papel no desenvolvimento de cadeias de valor compatíveis com as florestas — como açaí, cacau, castanha-do-pará e outros produtos florestais não madeireiros — que apoiam meios de subsistência sustentáveis e reforçam as metas de conservação. A mobilização da expertise e dos recursos do setor privado nesses setores pode contribuir para o alinhamento da restauração florestal com o desenvolvimento econômico inclusivo.

Simulação das Receitas do JREDD+, TFFF e RDM em Países com Florestas Tropicais

Este trabalho busca simular o potencial de receita dos mecanismos JREDD+, TFFF e RDM diante de um mesmo cenário: todas as terras desmatadas entre 2001 e 2023 são restauradas e não ocorre mais desmatamento (Figura 15). Nessa simulação, os pagamentos JREDD+ estão vinculados ao desmatamento evitado, o TFFF oferece recompensas pela conservação de florestas em pé, e o RDM oferece compensação pela restauração florestal. Para maior clareza e para enfatizar as principais diferenças entre esses mecanismos, potenciais interações entre eles não estão sendo consideradas.

Figura 15. Simulação do Potencial de Receita do JREDD+, TFFF e RDM nos 20 Principais Países com Florestas Tropicais

País	2023 Área de floresta (Milhões ha)	2001-2023 Área desmatada (Milhões ha)	2023 Estoque de carbono (GtCO ₂ e)	Potencial recaptura de carbono (GtCO ₂ e)	JREDD+ (US\$ Milhões)	VP TFFF (US\$ Milhões)	VP RDM US\$ 50/tCO ₂ (US\$ Milhões)
Brasil	358,85	50,71	171,31	16,67	10.732	70.404	783.354
Indonésia	123,80	31,36	41,77	6,39	4.612	24.289	372.193
RDC	99,29	11,19	73,88	6,39	4.153	19.479	225.758
Malásia	20,84	9,49	5,93	2,61	1.196	4.088	102.120
China	70,04	12,75	26,03	1,73	1.158	13.741	73.602
Colômbia	69,31	4,63	28,02	2,59	887	13.598	62.817
Mianmar	35,82	5,34	8,19	0,48	696	7.028	38.151
Bolívia	27,46	2,75	16,37	0,84	520	5.387	35.813
Libéria	7,02	2,33	2,90	0,66	694	1.377	35.057
Camarões	20,84	1,63	14,07	0,85	693	4.089	33.468
Laos	12,57	4,64	2,84	0,58	587	2.466	31.514
Madagascar	9,07	3,81	2,02	0,73	473	1.779	25.804
Papua Nova Guiné	38,43	1,85	15,51	0,64	427	7.539	25.100
Costa do Marfim	8,73	3,49	1,79	0,60	246	1.713	21.142
Vietnã	10,14	3,00	2,39	0,19	370	1.989	19.553
Tailândia	14,04	2,84	3,12	0,27	310	2.755	18.331
México	12,92	3,22	5,48	0,20	245	2.534	14.490
Nicarágua	3,76	1,57	1,13	0,27	169	737	12.504
Congo	20,85	0,63	13,32	0,30	233	4.091	12.473
Gana	4,84	1,72	1,04	0,21	232	949	12.416
Demais países com florestas tropicais*	299,85	27,29	155,81	5,84	3.796	58.831	163.270
Total	1.268	186	593	49	32.431	248.865	2.118.929

*Ver lista completa de países no Anexo deste documento.

Fonte: CPI/PUC-Rio com dados de Hansen et al. (2013) - v1.11, CHIRPS (2023) e TerraClimate (2020), 2025

Nota: Os dados relativos à área florestal do México provêm do Inegi (2019) e referem-se ao ano de 2014. Os valores JREDD+ representam os montantes acumulados estimados que os países teriam recebido nos últimos dez anos num cenário contrafactual de desmatamento zero nas florestas tropicais e subtropicais úmidas de folha larga. Os valores TFFF e RDM representam o valor presente (VP) de todos os pagamentos futuros ao abrigo desses instrumentos.

Considerando um preço de referência de US\$ 10 por tonelada de CO₂, a simulação estima o potencial das receitas do JREDD+ ao vincular o desmatamento evitado ao carbono armazenado nas florestas tropicais que foram desmatadas. A linha de base para o crédito de carbono é definida como a média anual do desmatamento de 10 milhões de hectares observada entre 2013 e 2023, com um estoque de carbono associado de aproximadamente 375 toneladas de CO₂ por hectare. Para estimar o potencial máximo do JREDD+ em deter o desmatamento, o exercício pressupõe um cenário extremo em que todo o desmatamento é interrompido imediatamente durante o primeiro período de emissão de créditos, resultando em um pagamento único. Uma abordagem alternativa seria modelar uma possível redução gradual do desmatamento, o que implicaria um cronograma de pagamentos ao longo do

tempo. No entanto, o VP de tal cronograma seria necessariamente inferior ao do cenário de desmatamento zero imediato.

Multiplicando essa densidade de carbono por um preço de referência de US\$ 10 por tonelada de CO₂ e pelo desmatamento médio anual, obtém-se uma estimativa das receitas que os países poderiam ter obtido com o JREDD+ ao interromper imediatamente a perda florestal. Para todos os países combinados, isso equivale a US\$ 32,4 bilhões. Esse valor deve ser entendido como um ganho único, refletindo a interrupção imediata do desmatamento na linha de base de 10 milhões de hectares e o preço de referência de US\$ 10 por tonelada de CO₂.

Em contraste com o JREDD+, os mecanismos TFFF e RDM envolvem necessariamente cronogramas de pagamento distribuídos ao longo do tempo. Para o TFFF, os pagamentos são feitos anualmente, enquanto, para o RDM, o cronograma é determinado pelo ritmo natural da regeneração florestal ou do plantio. Considerando essas trajetórias distintas, as receitas potenciais de cada mecanismo são estimadas usando o VP descontado dos pagamentos esperados, aplicando uma taxa de desconto de 2%.

O potencial do TFFF baseia-se na área total de floresta tropical de 1,27 bilhão de hectares. Assumindo um valor de US\$ 4 por hectare de floresta em pé, isso se traduz em aproximadamente US\$ 5 bilhões em pagamentos anuais, resultando em um VP de quase US\$ 250 bilhões.

A simulação do potencial do RDM pressupõe que todas as áreas desmatadas entre 2001 e 2023 serão submetidas à regeneração a partir de 2031. Utilizando um preço de carbono de US\$ 50 por tonelada de CO₂, isso gera um VP de aproximadamente US\$ 1,7 trilhão em países com florestas tropicais.

Essa diferença entre os três mecanismos reflete os objetivos distintos de cada um: o JREDD+ é um mecanismo que, na prática, tem sido usado principalmente para interromper o desmatamento; o TFFF fornece pagamentos por florestas em pé, inclusive em áreas que não estão sob pressão imediata de desmatamento; e o RDM compensa remoções de carbono em larga escala, incentivando a restauração de terras degradadas.

Os resultados comparativos destacam uma forte variação entre os países. O Brasil, país com a maior cobertura florestal, o maior desmatamento e o maior potencial de restauração, registra as maiores receitas potenciais em todos os mecanismos. No entanto, os benefícios relativos diferem significativamente em outros lugares. A maioria dos países com florestas tropicais deve alcançar maiores benefícios com o RDM. Entretanto, no caso dos países como Gabão e Guiana, em que as florestas estão praticamente intactas e o desmatamento é baixo, presume-se que os benefícios sejam maiores com o TFFF. Os valores do JREDD+ são significativamente mais baixos neste cenário, porque, na melhor das hipóteses, quando o desmatamento é imediatamente interrompido, trata-se de um pagamento único, enquanto, no caso do TFFF e do RDM, são fluxos de pagamentos. **Esses resultados reforçam a importância de uma abordagem integrada, que possibilite que os instrumentos de políticas públicas sejam adaptados aos perfis e às necessidades particulares de cada país.**

Estabelecer mecanismos de restauração eficazes que complementem os esforços de conservação existentes é fundamental para destravar todos os benefícios climáticos, ecológicos e sociais das florestas tropicais. A restauração deve ser projetada para funcionar em conjunto com incentivos de conservação, garantindo, assim, que os ganhos com a recuperação florestal não sejam alcançados às custas das florestas existentes. A urgência da crise climática exige soluções inovadoras e escaláveis que respondam às diversas realidades nacionais e se integrem perfeitamente aos esforços contínuos de proteção florestal. Daqui para frente, o avanço desses mecanismos complementares será essencial para maximizar o papel das florestas tropicais como pilares da mitigação climática global.



Construindo uma Arquitetura Financeira sob Medida para as Florestas

As florestas tropicais são uma das ferramentas mais poderosas, porém subutilizadas, contra as mudanças climáticas. Elas armazenam vastas reservas de carbono e oferecem um potencial excepcional para a captura de CO₂ em larga escala por meio da regeneração natural. Mas, apesar dos sucessos comprovados em conservação e restauração, os esforços permanecem inconsistentes e vulneráveis a mudanças políticas e pressões dissonantes. A escala e a diversidade da agenda florestal exigem incentivos financeiros capazes de abordar três questões centrais: deter o desmatamento, proteger as florestas existentes e impulsionar a restauração em larga escala.

Embora o JREDD+ tenha fornecido uma estrutura reconhecida para reduzir o desmatamento e o recém-proposto TFFF busque proteger as florestas em pé, ainda existe uma lacuna crítica no financiamento climático em relação aos incentivos para a restauração florestal. O RDM pode preencher essa lacuna, servindo como um modelo para mecanismos que recompensam jurisdições pela restauração de ecossistemas. Ao gerar créditos de captura de carbono, o RDM apoia diretamente a mitigação climática, fortalece a resiliência das florestas tropicais, salvaguarda a biodiversidade e reduz os riscos de ultrapassar pontos de não retorno ecológicos.

Baseado em pagamentos jurisdicionais por resultados, o RDM é escalável, adaptável e projetado para funcionar em conjunto com os mecanismos existentes. Dessa forma, os projetos jurisdicionais e baseados em resultados do JREDD+, TFFF e RDM se fortalecem mutuamente, proporcionando uma arquitetura financeira flexível e sob medida para as florestas. Ao conectar incentivos financeiros a resultados mensuráveis de restauração, o RDM demonstra como mecanismos bem estruturados podem transformar compromissos internacionais em ações concretas.

É importante ressaltar que o RDM opera dentro de um regime florestal internacional consolidado, com base em décadas de acordos, convenções e iniciativas multilaterais. As orientações recentes do primeiro Balanço Global na COP28 já orientaram os países a interromper e reverter o desmatamento, destacando a necessidade urgente de mecanismos como o RDM. Análises do CPI/PUC-Rio confirmam que o RDM pode não apenas contribuir substancialmente para a mitigação climática, mas também gerar receitas substanciais para países com florestas tropicais.

A COP30, a ser realizada na Amazônia, representa uma oportunidade única para colocar o financiamento florestal no centro da ação climática global. Ancorar a ambição climática internacional na maior floresta tropical do mundo pode catalisar o compromisso político e direcionar recursos para os países mais bem posicionados para restaurar as florestas em larga escala.

Se adotada, essa abordagem pode transformar as florestas tropicais em ativos climáticos duradouros, aumentando o sequestro de carbono, reduzindo o desmatamento, protegendo a biodiversidade e apoiando as comunidades que dependem da floresta. No entanto, o tempo para ação está se esgotando. Mobilizar vontade política, recursos financeiros e parcerias intersetoriais é essencial para destravar todo o potencial climático, ecológico e econômico das florestas tropicais.



Anexo

Figura A1. Valor Presente do RDM por Hectare para Países com Florestas Tropicais

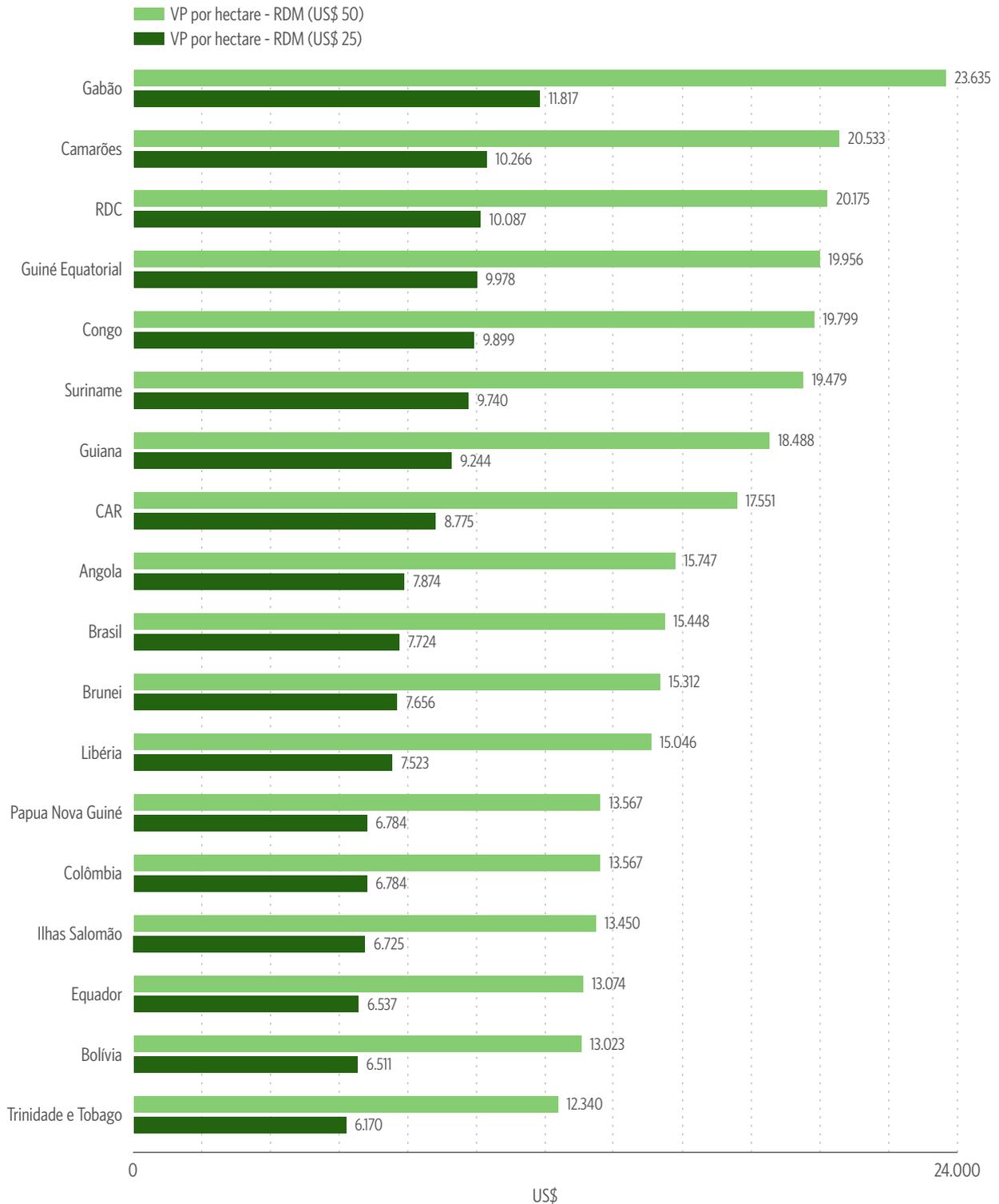


Figura A1 continua na próxima página.

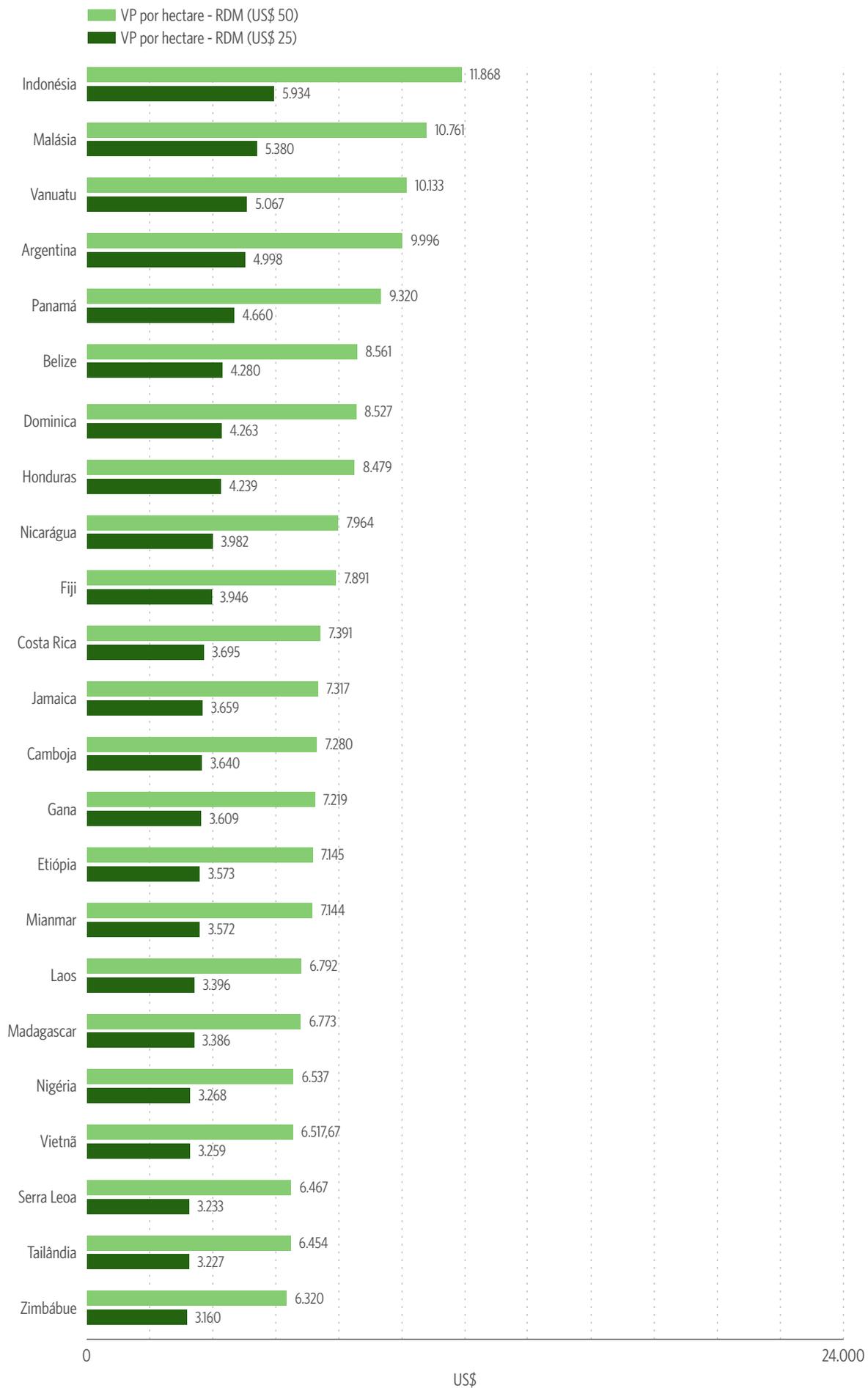


Figura A1 continua na próxima página.

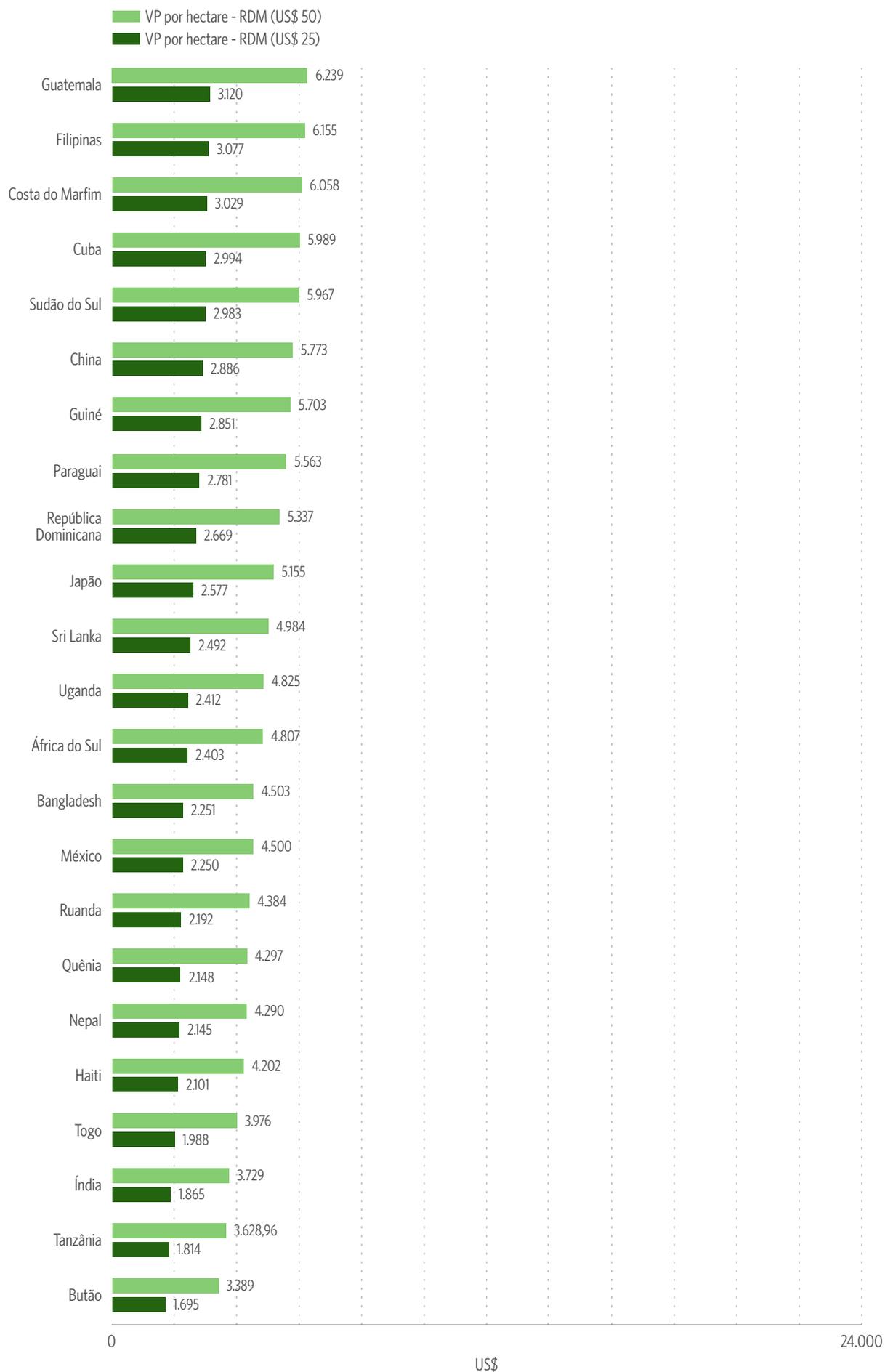
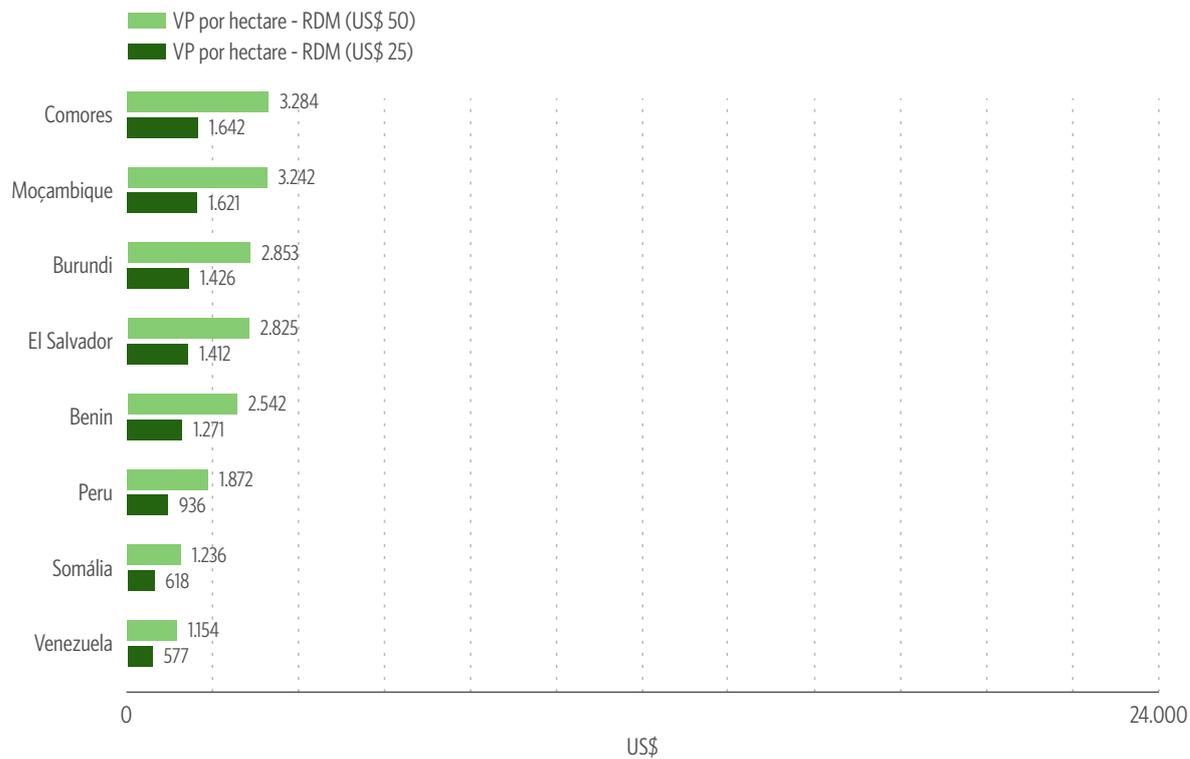


Figura A1 continua na próxima página.



Fonte: CPI/PUC-Rio com dados de Hansen et al. (2013), CHIRPS (2023) e TerraClimate (2020), 2025

Figura A2. Simulação do Potencial de Receita de JREDD+, TFFF e RDM em Países com Florestas Tropicais

País	2023 Área de floresta (Milhões ha)	2001-2023 Área desmatada (Milhões ha)	2023 Estoque de carbono (GtCO ₂ e)	Potencial recaptura de carbono (GtCO ₂ e)	JREDD+ (US\$ Milhões)	VP TFFF (US\$ Milhões)	VP RDM US\$ 50/tCO ₂ (US\$ Milhões)
Brasil	358,85	50,71	171,31	16,67	10.732	70.404	783.354
Indonésia	123,80	31,36	41,77	6,39	4.612	24.289	372.193
RDC	99,29	11,19	73,88	6,39	4.153	19.479	225.758
Malásia	20,84	9,49	5,93	2,61	1.196	4.088	102.120
China	70,04	12,75	26,03	1,73	1.158	13.741	73.602
Colômbia	69,31	4,63	28,02	2,59	887	13.598	62.817
Mianmar	35,82	5,34	8,19	0,48	696	7.028	38.151
Bolívia	27,46	2,75	16,37	0,84	520	5.387	35.813
Libéria	7,02	2,33	2,90	0,66	694	1.377	35.057
Camarões	20,84	1,63	14,07	0,85	693	4.089	33.468
Laos	12,57	4,64	2,84	0,58	587	2.466	31.514
Madagascar	9,07	3,81	2,02	0,73	473	1.779	25.804
Papua Nova Guiné	38,43	1,85	15,51	0,64	427	7.539	25.100
Costa do Marfim	8,73	3,49	1,79	0,60	246	1.713	21.142
Vietnã	10,14	3,00	2,39	0,19	370	1.989	19.553
Tailândia	14,04	2,84	3,12	0,27	310	2.755	18.331
México	12,92	3,22	5,48	0,20	245	2.534	14.490
Nicarágua	3,76	1,57	1,13	0,27	169	737	12.504
Congo	20,85	0,63	13,32	0,30	233	4.091	12.473
Gana	4,84	1,72	1,04	0,21	232	949	12.416
Equador	16,12	0,90	6,27	0,44	156	3.163	11.766
Nigéria	5,77	1,58	1,63	0,24	227	1.133	10.329
Serra Leoa	2,24	1,59	0,60	0,14	218	440	10.283
Guatemala	4,01	1,59	1,01	0,17	120	787	9.921
Filipinas	16,43	1,60	3,05	0,23	154	3.224	9.847
Gabão	20,24	0,38	15,89	0,24	147	3.970	8.981
Índia	21,99	2,37	3,39	0,08	155	4.315	8.839
Argentina	5,11	0,83	4,72	0,19	101	1.003	8.297
Peru	73,00	4,15	34,82	2,20	1.100	14.322	7.768
Paraguai	2,71	1,35	1,78	0,07	78	532	7.510
Honduras	2,61	0,76	1,21	0,11	113	511	6.444
Moçambique	5,71	1,70	2,26	0,06	88	1.121	5.511
Camboja	2,58	0,71	1,16	0,27	60	506	5.169
Guiné	1,91	0,86	0,75	0,07	114	375	4.905
Guiana	18,49	0,26	9,98	0,14	82	3.628	4.807
Suriname	13,31	0,24	7,35	0,14	85	2.611	4.675
Panamá	4,80	0,50	1,36	0,07	59	941	4.660
Tanzânia	3,41	1,28	2,42	0,13	73	669	4.645
CAR	6,02	0,25	10,99	0,11	75	1.180	4.388
Guiné Equatorial	2,43	0,15	1,46	0,08	54	477	2.993

Figura A2 continua na próxima página.

País	2023 Área de floresta (Milhões ha)	2001-2023 Área desmatada (Milhões ha)	2023 Estoque de carbono (GtCO ₂ e)	Potencial recaptura de carbono (GtCO ₂ e)	JREDD+ (US\$ Milhões)	VP TFFF (US\$ Milhões)	VP RDM US\$ 50/tCO ₂ (US\$ Milhões)
Ilhas Salomão	2,25	0,21	0,90	0,07	51	442	2.825
Belize	1,18	0,26	0,34	0,03	34	232	2.226
Costa Rica	3,23	0,27	0,77	0,04	23	634	1.996
Quênia	2,26	0,40	0,34	0,01	23	443	1.719
Etiópia	4,69	0,24	1,83	0,03	28	920	1.715
República Dominicana	1,26	0,29	0,35	0,02	22	247	1.548
Uganda	1,83	0,32	0,65	0,03	26	358	1.544
Bangladesh	1,30	0,30	0,19	0,01	26	256	1.351
Venezuela	41,69	1,01	19,18	0,33	214	8.179	1.165
África do Sul	0,76	0,22	0,63	0,01	14	150	1.057
Cuba	1,19	0,16	0,51	0,03	17	234	958
Brunei	0,50	0,03	0,20	0,01	6	98	459
Angola	0,23	0,02	7,13	0,01	7	45	315
Sri Lanka	1,23	0,06	0,35	0,01	5	241	299
Jamaica	0,59	0,04	0,14	0,01	3	116	293
Ruanda	0,35	0,06	0,05	0,00	6	69	263
Haiti	0,58	0,06	0,09	0,00	5	114	252
Trinidade e Tobago	0,34	0,02	0,11	0,01	2	66	247
Togo	0,31	0,05	0,05	0,00	5	60	199
Dominica	0,03	0,02	0,01	0,00	4	7	171
Fiji	0,96	0,02	0,33	0,00	3	189	158
Burundi	0,28	0,05	0,04	0,00	3	55	143
Zimbábue	0,03	0,02	0,09	0,00	2	6	126
Vanuatu	1,05	0,01	0,21	0,00	2	206	101
Nepal	1,55	0,02	0,62	0,00	1	304	86
Sudão do Sul	0,18	0,01	1,27	0,00	1	36	60
Japão	0,23	0,01	6,52	0,00	0	44	52
Butão	0,33	0,01	0,40	0,00	1	65	34
Comores	0,12	0,01	0,02	0,00	1	24	33
El Salvador	0,08	0,01	0,12	0,00	1	16	28
Benin	0,00	0,01	0,01	0,00	1	0	25
Somália	0,07	0,02	0,00	0,00	0	14	25
Singapura	0,01	0,00	0,00	0,00	0	3	25
Ilhas Maurício	0,06	0,00	0,01	0,00	0	11	13
Granada	0,02	0,00	0,00	0,00	0	4	6
Suazilândia	0,08	0,00	0,04	0,00	0	16	6
Palau	0,03	0,00	0,01	0,00	0	6	5
Santa Lúcia	0,03	0,00	0,01	0,00	0	6	4
Maláui	0,01	0,00	0,15	0,00	0	0	2

Figura A2 continua na próxima página.

País	2023 Área de floresta (Milhões ha)	2001-2023 Área desmatada (Milhões ha)	2023 Estoque de carbono (GtCO ₂ e)	Potencial recaptação de carbono (GtCO ₂ e)	JREDD+ (US\$ Milhões)	VP TFFF (US\$ Milhões)	VP RDM US\$ 50/tCO ₂ (US\$ Milhões)
São Vicente e Granadinas	0,01	0,00	0,01	0,00	0	3	1
São Tomé e Príncipe	0,01	0,00	0,00	0,00	0	2	1
São Cristóvão e Neves	0,01	0,00	0,00	0,00	0	1	0
Antígua e Barbuda	0,01	0,00	0,00	0,00	0	0	0
Total	1.268,47	186,24	592,89	49,04	32.431	248.865	2.118.929

Fonte: CPI/PUC-Rio com dados de Hansen et al. (2013) - v1.11, CHIRPS (2023) e TerraClimate (2020), 2025

Nota: Dos 91 países analisados, apenas aqueles com um valor combinado em todos os instrumentos financeiros superior a US\$ 3.000 estão incluídos na tabela. Os valores de JREDD+ representam os montantes acumulados estimados que os países teriam recebido nos últimos dez anos num cenário contrafactual de desmatamento zero nas florestas tropicais e subtropicais úmidas de folha larga. Os valores de TFFF e RDM representam o valor presente (VP) de todos os pagamentos futuros ao abrigo desses instrumentos.

Referências

- Abman, Ryan e Conor Carney. "Agricultural productivity and deforestation: evidence from input subsidies and ethnic favoritism in Malawi". *Journal of Environmental Economics and Management* 103 (2020): 102342. [bit.ly/3IAzn3w](https://doi.org/10.1016/j.jem.2020.102342).
- Abman, Ryan, Teevrat Garg, Yao Pan e Saurabh Singhal. "Agriculture Productivity and Deforestation". 2023. [bit.ly/4INjRQa](https://doi.org/10.1016/j.jem.2023.102342).
- Achille, Lutumba S., Kebin Zhang e Christian J. K. Anoma. "Dynamics of Deforestation and Degradation of forests in the Democratic Republic of Congo from 1990 to 2018". *Open Journal of Ecology* 11, nº 5 (2021): 451-461. [bit.ly/4fBnelg](https://doi.org/10.1016/j.jem.2021.102342).
- Agrawal, Arun, Minna Kononen e Nicolas Perrin. "The Role of Local Institutions in Adaptation to Climate Change". *Social Development Papers* nº 118 (2009). [bit.ly/4n0CSPV](https://doi.org/10.1016/j.jem.2009.102342).
- Alix-Garcia, Jennifer M., Katharine R. E. Sims e Patricia Yañez-Pagans. "Only one tree from each seed? Environmental effectiveness and poverty alleviation in Mexico's payments for ecosystem services program". *American Economic Journal: Economic Policy* 7, nº 4 (2015): 1-40. [bit.ly/46Brg0H](https://doi.org/10.1016/j.jem.2015.102342).
- Andam, Kwaw S., Paul J. Ferraro, Alexander Pfaff, G. Arturo Sanchez-Azofeifa e Juan A. Robalino. "Measuring the effectiveness of protected area networks in reducing deforestation". *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105, nº 42 (2008): 16089-16094. [bit.ly/3U4y9A6](https://doi.org/10.1016/j.jem.2008.102342).
- Aragão, Luiz E. O. C. "The rainforest's water pump". *Nature* 489 (2012): 217-218. [bit.ly/41WPT4J](https://doi.org/10.1016/j.jem.2012.102342).
- Araujo, Rafael e João Mourão. *O Efeito Dominó da Amazônia: como o Desmatamento Pode Desencadear uma Degradação Generalizada*. Rio de Janeiro: Climate Policy Initiative, 2023. [bit.ly/Efeito-Domino](https://doi.org/10.1016/j.jem.2023.102342).
- Araujo, Rafael. "The value of tropical forests to hydropower". *Energy Economics* 129 (2024): 107205. [bit.ly/462j7S9](https://doi.org/10.1016/j.jem.2024.107205).
- Araujo, Rafael. *When clouds go dry: An integrated model of deforestation, rainfall, and agriculture*. Sociedade Brasileira de Econometria, 2023. [bit.ly/45PWAH7](https://doi.org/10.1016/j.jem.2023.102342).
- Arriagada, Rodrigo A., Paul J. Ferraro, Erin O. Sills, Subhrendu K. Pattanayak e Silvia Cordero-Sancho. "Do Payments for Environmental Services Affect Forest Cover? A Farm-Level Evaluation from Costa Rica". *Land Economics* 88, nº 2 (2012): 382-399. [bit.ly/4eDCh3v](https://doi.org/10.1016/j.jem.2012.102342).
- Assunção, Juliano, Clarissa Gandour e Romero Rocha. "DETER-ing Deforestation in the Amazon: Environmental Monitoring and Law Enforcement". *American Economic Journal: Applied Economics* 15, nº 2 (2023): 125-156. [bit.ly/44ms6NI](https://doi.org/10.1016/j.jem.2023.102342).

- Assunção, Juliano, Clarissa Gandour, Romero Rocha e Rudi Rocha. "The Effect of Rural Credit on Deforestation: Evidence from the Brazilian Amazon". *The Economic Journal* 130, nº 626 (2020): 290–330. [bit.ly/4ITOOcX](https://doi.org/10.1017/S0950080420000000).
- Assunção, Juliano J., Lars P. Hansen, Todd Munson e José A. Scheinkman. "Carbon prices and forest preservation over space and time in the Brazilian Amazon". *Working Paper* nº 2023-86 (2025). [bit.ly/4IOhPQ3](https://doi.org/10.3386/w31003).
- Assunção, Juliano J., Robert McMillan, Joshua Murphy e Eduardo Souza-Rodrigues. "Optimal Environmental Targeting in the Amazon Rainforest". *The Review of Economic Studies* 90, nº 4 (2023): 1608–1641. [bit.ly/4lk40J7](https://doi.org/10.1017/S0022218423000000).
- Austin, Kemen G., Aline Mosnier, Johannes Pirker, Ian McCallum e Steffen Fritz. "Shifting patterns of oil palm driven deforestation in Indonesia and implications for zero-deforestation commitments". *Land Use Policy* 69 (2017): 41–48. [bit.ly/45UCkVY](https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.05.010).
- Austin, Kemen G., Amanda Schwantes, Yaofeng Gu e Prasad S. Kasibhatla. "What causes deforestation in Indonesia?". *Environmental Research Letters* 14, nº 2 (2019). [bit.ly/4mGYCQC](https://doi.org/10.1088/1755-1315/14/2/025001).
- Azevedo-Ramos, Claudia e Paulo Moutinho. "No man's land in the Brazilian Amazon: Could undesignated public forests slow Amazon deforestation?". *Land Use Policy* 73 (2018): 125–127. [bit.ly/46AP30E](https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.03.010).
- Azevedo-Ramos, Claudia, Paulo Moutinho, Vera L. da S. Arruda, Marcelo C. C. Stabile, Ane Alencar et al. "Lawless land in no man's land: The undesignated public forests in the Brazilian Amazon". *Land Use Policy* 99 (2020): 104863. [bit.ly/4IDYosW](https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104863).
- Balboni, Clare, Robin Burgess e Benjamin A. Olken. "The Origins and Control of Forest Fires in the Tropics". *The Review of Economic Studies* (2024). [bit.ly/44VE6Wj](https://doi.org/10.1017/S0022218424000000).
- Balboni, Clare, Robin Burgess, Anton Heil, Jonathan Old e Benjamin A. Olken. "Cycles of Fire? Politics and Forest Burning in Indonesia". *American Economic Association Papers and Proceedings* 111 (2021): 415–419. [bit.ly/4lStL3h](https://doi.org/10.3386/w28133).
- Baragwanath, Katharyn, Ella Bayi e Nilesh Shinde. "Collective property rights lead to secondary forest growth in the Brazilian Amazon". *Proceedings of the National Academy of Sciences* 120, nº 22 (2023): e2221346120. [bit.ly/4lEq94E](https://doi.org/10.1073/pnas.2221346120).
- Baragwanath, Katharyn e Ella Bayi. "Collective property rights reduce deforestation in the Brazilian Amazon". *Proceedings of the National Academy of Sciences* 117, nº 34 (2020): 20495–20502. [bit.ly/4lllzHv](https://doi.org/10.1073/pnas.2004952117).
- Beveridge, Claire F., Jhan-Carlo Espinoza, Simone Athayde, Sandra B. Correa, Thiago B. A. Couto et al. "The Andes–Amazon–Atlantic pathway: A foundational hydroclimate system for social–ecological system sustainability". *Proceedings of the National Academy of Sciences* 121, nº 22 (2024): e2306229121. [bit.ly/45LvPDt](https://doi.org/10.1073/pnas.2306229121).
- Bilal, Adrien e Diego R. Känzig. "The macroeconomic impact of climate change: Global vs. local temperature". *National Bureau of Economic Research*, nº 32450 (2024): 1–101. [bit.ly/45Zg4dz](https://doi.org/10.3386/w32450).
- Blackman, Allen, Leonardo Corral, Eirivelthon S. Lima e Gregory P. Asner. "Titling indigenous communities protects forests in the Peruvian Amazon". *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114, nº 16 (2017): 4123–4128. [bit.ly/44JcN06](https://doi.org/10.1073/pnas.1612341114).

- Bragança, Arthur e Ricardo Dahis. "Cutting special interests by the roots: Evidence from the Brazilian Amazon". *Journal of Public Economics* 215 (2022): 104753. [bit.ly/3GGbl12](https://doi.org/10.1016/j.jpubeco.2022.104753).
- Bruggeman, Derek, Patrick Meyfroidt e Eric F. Lambin. "Production forests as a conservation tool: Effectiveness of Cameroon's land use zoning policy". *Land Use Policy* 42 (2015): 151-164. [bit.ly/3GCV9D9](https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.05.010).
- Burgess, Robin, Matthew Hansen, Benjamin A. Olken, Peter Potapov e Stefanie Sieber. "The political economy of deforestation in the tropics". *The Quarterly Journal of Economics* 127, nº 4 (2012): 1707-1754. [bit.ly/4lgTOfA](https://doi.org/10.1093/qje/qjz001).
- Cardoso, Murilo R. D., Robson Disarz, Daniel S. G. Guzzo e Morgana O. Andrade. *Aplicação de alertas de desmatamento e mapeamentos de uso e cobertura do solo da Rede MapBiomias no combate ao desmatamento ilegal no estado de Goiás*. Governo do Estado de Goiás, 2024. [bit.ly/4lDtfWs](https://doi.org/10.1016/j.ambi.2024.1000000).
- Cisneros, Elías, Krisztina Kis-Katos e Nunung Nuryartono. "Palm oil and the politics of deforestation in Indonesia". *Journal of Environmental Economics and Management* 108 (2021): 102453. [bit.ly/4eIOcPk](https://doi.org/10.1016/j.jee.2021.102453).
- Climate Hazard Center. *CHIRPS: Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data*. 2023. Data de acesso: 04 de agosto de 2025. [bit.ly/4mWzOPE](https://climate.geog.udel.edu/climategeo/#/dataset/CHIRPS).
- Climate Impact Lab - University of Idaho. *TerraClimate: Monthly climate and climatic water balance for global terrestrial surfaces*. 2020. Data de acesso: 04 de agosto de 2025. [bit.ly/45AX313](https://climate.earthlab.net/).
- Conservation International. *Biodiversity Hotspots: Targeted investment in nature's most important places*. sd. Data de acesso: 13 de agosto de 2025. [bit.ly/41mRtge](https://www.conservation.org/biodiversity-hotspots).
- Dinerstein, Eric, David Olson, Anup Joshi, Carly Vynne, Neil D. Burgess et al. "An ecoregion-based approach to protecting half the terrestrial realm". *BioScience* 67, nº 6 (2017): 534-545. [bit.ly/4oBMdPB](https://doi.org/10.1093/bios/bix011).
- Flores, Bernardo M., Encarni Montoya, Boris Sakschewski, Nathália Nascimento, Arie Staal et al. "Critical transitions in the Amazon forest system". *Nature* 626, (2024): 555-564. [Bit.ly/4648Uok](https://doi.org/10.1038/s41586-024-0388-4).
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). *Global Forest Resources Assessment 2020 - Key Findings*. 2020. [bit.ly/4lyD5J2](https://www.fao.org/forestry/assessment-2020/).
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAOSTAT). *Value of Agricultural Production*. 2017. Data de acesso: 10 de junho de 2025. [bit.ly/3fgNJmV](https://www.fao.org/faostat/).
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). *The State of The World's Forests*. Rome, 2024. [bit.ly/4gdwHpD](https://www.fao.org/forestry/forests/).
- Gandour, Clarissa. "Forest Wars: A Trilogy on Combating Deforestation in the Brazilian Amazon". PhD diss., PUC-Rio, 2018. [bit.ly/3GGKGXk](https://doi.org/10.1016/j.ambi.2018.1000000).
- Gatti, Luciana V., Luana S. Basso, John B. Miller, Manuel Gloor, Lucas G. Domingues et al. "Amazonia as a carbon source linked to deforestation and climate change". *Nature* 595 (2021): 388-393. [bit.ly/4mszmOa](https://doi.org/10.1038/s41586-021-0388-4).

- Goldman, Elizabeth, Sarah Carter, and Michelle Sims. "Fires Drove Record-breaking Tropical Forest Loss in 2024". *Global Forest Review - World Resources Institute*. 2025. bit.ly/41ICOMi.
- Grima, Nelson, Hossein Moeini-Meybodi, Tim Scott, Zuzhang Xia. "Forests, Energy and Livelihoods". FAO, 2023. bit.ly/4IJut2g.
- Hamilton, Alison M., Elaine R. Klein, and Christopher C. Austin. "Biogeographic Breaks in Vanuatu, a Nascent Oceanic Archipelago". *Pacific Science* 64, n° 2 (2010): 149–159. bit.ly/4lwVdTm.
- Hansen, Matthew C. et al. *Global Forest Change v1.11 (2000–2023)*. University of Maryland, GLAD Laboratory & Google Earth Engine, 2023. bit.ly/4IZfyRY.
- Hansen, Matthew. C., Peter. V. Potapov, Rebecca Moore, Matthew Hancher, Svetlana. A. Turubanova et al. "High-Resolution Global Maps of 21 st-Century Forest Cover Change". *Science* 342, n° 6160 (2013): 850-853. bit.ly/45NtckK.
- Harstad, Bard. *Improving Tropical Forest Financing: From TFFF and REDD+ to SSLB and FLL*. Harvard Project on Climate Agreements, 2025. bit.ly/45AjXFH.
- Heilmayr, Robert, Lisa L. Rausch, Jacob Munger e Holly K. Gibbs. "Brazil's Amazon Soy Moratorium reduced deforestation". *Nature Food* 1 (2020): 801–810. bit.ly/4eQ9ERO.
- Ickowitz, Amy, Daniel Slayback, Philippe Asanzi e Robert Nasi. *Agriculture and deforestation in the Democratic Republic of the Congo: A synthesis of the current state of knowledge*. Bogor: Center for International Forestry Research (CIFOR), 2015. bit.ly/4nJWXLC.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). *Estadísticas a propósito del Día Internacional de los Bosques (21 de março)*. México: INEGI, 2019. 2025. bit.ly/3JWWMwl.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *IPCC Sixth Assessment Report*. 2022. bit.ly/4oSvS9t.
- International Energy Agency (IEA). *Cars and Vans*. 2024. Data de acesso: 17 de junho de 2025. bit.ly/41jNqkS.
- Jayachandran, Seema, Joost de Laat, Eric F. Lambin, Charlotte Y. Stanton e Robin Audy et al. "Cash for carbon: A randomized trial of payments for ecosystem services to reduce deforestation". *Science* 357, n° 6348 (2017): 267–273. bit.ly/4nEXnmj.
- Joppa, Lucas N. and Alexander Pfaff. "Global protected area impacts". *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 278, n° 1712 (2010): 1633–1638. bit.ly/4lWdPgh.
- Keenan, Rodney. J. "Climate change impacts and adaptation in forest management: a review". *Annals of Forest Science* 72 (2015): 145-167. bit.ly/3UF3h9K.
- Kier, Gerold, Holger Kreft, Tien M. Lee, Walter Jetz, Pierre L. Ibisch et al. "A global assessment of endemism and species richness across island and mainland regions". *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106, n° 23 (2009): 9322–9327. bit.ly/4muDItW.
- Leite-Filho, Argemiro T., Britaldo S. Soares-Filho, Juliana L. Davis, Gabriel M. Abrahão e Jan Börner. "Deforestation reduces rainfall and agricultural revenues in the Brazilian Amazon". *Nature Communications* 12, n° 2591 (2021). bit.ly/4mUmS1H.

- Levis, Carolina, Flavia R. C. Costa, F. Bongers, M. Peña-Claros, Charles Clement et al. "Persistent effects of pre-Columbian plant domestication on Amazonian forest composition". *Science* 355, nº 6328 (2017): 925-931. [bit.ly/47xqthJ](https://doi.org/10.1126/science.1254111).
- Libert-Amico, Antoine, A. E. Duchelle, A. Cobb, V. Peccoud e H. Djoudi. *Forest-based adaptation: transformational adaptation through forests and trees*. FAO, 2022. [bit.ly/4IASzMF](https://doi.org/10.1093/forestry/1000111).
- Lima Filho, Francisco L., Arthur Bragança e Juliano Assunção. *A economia da Pecuária na Amazônia: Grilagem ou Expansão da Fronteira Agropecuária?* Rio de Janeiro: Climate Policy Initiative, 2021. [bit.ly/AgroGrilagem](https://doi.org/10.1007/978-65-00-11111-1).
- Lovejoy, Thomas. E. e Carlos Nobre. "Amazon Tipping Point". *Science Advances* 4, nº 2 (2018). [bit.ly/4IEPjzK](https://doi.org/10.1126/sciadv.aat0001).
- Miranda, Juan J., Leonardo Corral, Allen Blackman, Gregory Asner e Eirivelthon Lima. "Effects of Protected Areas on Forest Cover Change and Local Communities: Evidence from the Peruvian Amazon". *World Development* 78 (2016): 288-307. [bit.ly/44TZtHt](https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2016.05.011).
- Miteva, Daniela A., Colby J. Loucks e Subhrendu K. Pattanayak. "Social and Environmental Impacts of Forest Management Certification in Indonesia". *PLOS One* 10, nº 7 (2015): e0129675. [bit.ly/4kCIBL3](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0129675).
- Moros, Lina, María Alejandra Vélez, Daniela Quintero, Danny Tobin e Alexander Pfaff. "Temporary PES do not crowd out and may crowd in lab-in-the-field forest conservation in Colombia". *Ecological Economics* 204 (2023): 107652. [bit.ly/461IWCw](https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2023.107652).
- Musinsky, John, Karyn Tabor, Carlos A. Cano, Juan Carlos Ledezma, Eddy Mendoza et al. "Conservation impacts of a near real-time forest monitoring and alert system for the tropics". *Remote Sensing in Ecology and Conservation* 4, nº 3 (2018): 189-196. [bit.ly/4kwaVO6](https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.03.001).
- Myers, Norman, Russel A. Mittermeier, Cristina G. Mittermeier, Gustavo A. B. da Fonseca e Jennifer Kent. "Biodiversity hotspots for conservation priorities". *Nature* 403 (2000): 853-858. [bit.ly/45NxUii](https://doi.org/10.1038/403853a).
- Nelson, Andrew e Kenneth M. Chomitz. "Effectiveness of Strict vs. Multiple Use Protected Areas in Reducing Tropical Forest Fires: A Global Analysis Using Matching Methods". *PLOS One* 6, nº 8 (2011): e22722. [bit.ly/3U2Ui1H](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0022722).
- Neves, Eduardo G. "A tale of three species or the ancient soul of tropical forests". In N. Sanz (Ed.), *Tropical Forest Conservation: Long-Term Processes of Human Evolution, Cultural Adaptations and Consumption Patterns*. UNESCO, 2016. [bit.ly/4mWrAMn](https://doi.org/10.1007/978-92-807-0111-1).
- Nolte, Christoph, Arun Agrawal, Kirsten M. Silvius e Britaldo S. Soares-Filho. "Governance regime and location influence avoided deforestation success of protected areas in the Brazilian Amazon". *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110, nº 13 (2013): 4956-4961. [bit.ly/3Gf5YeM](https://doi.org/10.1073/pnas.1215111110).
- Oliver, Paul M., Deborah S. Bower, Peter J. McDonald, Fred Kraus, Jennifer Luedtke et al. "Melanesia holds the world's most diverse and intact insular amphibian fauna". *Communications Biology* 5, nº 1182 (2022). [bit.ly/4mjbaOf](https://doi.org/10.1038/s42003-022-02111-1).

- Olson, David M., Eric Dinerstein, Eric D. Wikramanayake, Neil D. Burgess, George V. N. Powell et al. "Terrestrial Ecoregions of the World: A New Map of Life on Earth: A new global map of terrestrial ecoregions provides an innovative tool for conserving biodiversity". *BioScience* 51, n° 11 (2001): 933-938. [bit.ly/4oH2K4M](https://doi.org/10.1093/bioscience/51.11.933).
- Pailler, Sharon. "Re-election incentives and deforestation cycles in the Brazilian Amazon". *Journal of Environmental Economics and Management* 88 (2018): 345-365. [bit.ly/4lzLjkE](https://doi.org/10.1016/j.jee.2018.05.005).
- Pelletier, Johanne, Hambulo Ngoma, Nicole M. Mason e Christopher B. Barrett. "Does smallholder maize intensification reduce deforestation? Evidence from Zambia". *Global Environmental Change* 63 (2020). [bit.ly/44oZEuj](https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102288).
- Pillay, Rajeev, Michelle Venter, Jose Aragon-Osejo, Pamela González-del-Pliego, Andrew J. Hansen et al. "Tropical forests are home to over half of the world's vertebrate species". *Frontiers in Ecology and the Environment* 20, n° 1 (2021). [bit.ly/45ykB6D](https://doi.org/10.1016/j.fecole.2021.01.001).
- Potapov, Peter, Matthew C. Hansen, Amy Pickens, Andres Hernandez-Serna; Alexandra Tyukavina et al. "The Global 2000-2020 Land Cover and Land Use Change Dataset Derived From the Landsat Archive: First Results". *Frontiers in Remote Sensing* 3 (2022). [bit.ly/3V7g9FO](https://doi.org/10.3389/frms.2022.894512).
- Robinson, Brian E., Margaret B. Holland e Lisa Naughton-Treves. "Does secure land tenure save forests? A meta-analysis of the relationship between land tenure and tropical deforestation". *Global Environmental Change* 29 (2014): 281-293. [bit.ly/4nKPM5B](https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.05.005).
- Rozendaal, Danaë M.A., Frans Bongers, T.M. Aide, Esteban Alvarez-Dávila, Nataly Ascarrunz et al. "Biodiversity recovery of neotropical secondary forests". *Science Advances* 5, n° 3 (2019). [bit.ly/3UNJTrd](https://doi.org/10.1126/sciadv.aaf0000).
- Salati, E., Attilio Dall'Olio, Eiichi Matsui e Joel R. Gat. "Recycling of water in the Amazon Basin: An isotopic study". *Water Resources Research* 15, n° 5 (1979): 1250-1258. [bit.ly/4mqOI5U](https://doi.org/10.1029/WR15i05p1250).
- Santoro, Maurizio e Oliver Cartus. "Research Pathways of Forest Above-Ground Biomass Estimation Based on SAR Backscatter and Interferometric SAR Observations". *Remote Sens.* 10 (2018): 1-23. [bit.ly/41rLTJo](https://doi.org/10.3390/rs10010001).
- Santos, Daniel, Manuele Lima, Agatha Vilhena, Beto Veríssimo e Caíque Silva. *Fatos da Amazônia 2025. Amazônia 2030, 2025*. [bit.ly/45WJODx](https://doi.org/10.1016/j.amz.2025.100001).
- Scheinkman, José. "Carbon prices and reforestation of tropical forests". *BIS Working Papers*, 2024. [bit.ly/4fQ4yV6](https://doi.org/10.2139/ssrn.4744444).
- Sims, Katharine R. E. "Do Protected Areas Reduce Forest Fragmentation? A Microlandscapes Approach". *Environmental and Resource Economics* 58 (2014): 303-333. [bit.ly/40CFIHq](https://doi.org/10.1007/s11120-014-9888-1).
- Skidmore, Marin Elisabeth, Fanny Moffette, Lisa Rausch, Matthew Christie, Jacob Munger et al. "Cattle ranchers and deforestation in the Brazilian Amazon: Production, location, and policies". *Global Environmental Change* 68, n° 10228 (2021): 1-14. [bit.ly/4fLrzIX](https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102288).
- Smith, Callum, Jessica. C. A. Baker e Dominick. V. Spracklen. "Tropical deforestation causes large reductions in observed precipitation". *Nature* 615 (2023): 270-275. [bit.ly/3UzkXDS](https://doi.org/10.1038/s41586-023-03000-0).

Soares-Filho, Britaldo, Raoni Rajão, Marcia Macedo, Arnaldo Carneiro, William Costa et al. "Cracking Brazil's Forest Code". *Science* 344, nº 6182 (2014): 363-364. [bit.ly/3U0kV7w](https://doi.org/10.1126/science.1257111).

Somanathan, E., R. Prabhakar, and Bhupendra Singh Mehta. "Decentralization for cost-effective conservation". *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106, nº 11 (2009): 4143-4147. [bit.ly/3IGt7qY](https://doi.org/10.1073/pnas.0809111106).

Souza, Priscila e Juliano Assunção. *Política de Crédito Rural no Brasil: Agropecuária, Proteção Ambiental e Desenvolvimento Econômico*. Rio de Janeiro: Climate Policy Initiative, 2020. [bit.ly/PoliticadeCredito](https://doi.org/10.1017/9781108888888).

Spracklen, Dominick V., S. R. Arnold e C. M. Taylor. "Observations of increased tropical rainfall preceded by air passage over forests". *Nature* 489 (2012): 282-285. [bit.ly/41H4Xn0](https://doi.org/10.1038/nature11000).

Stickler, Claudia M., Michael T. Coe, Marcos H. Costa, Daniel C. Nepstad, David G. McGrath et al. "Dependence of hydropower energy generation on forests in the Amazon basin at local and regional scales". *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110, nº 23 (2013): 9601-9606. [bit.ly/3HRjp59](https://doi.org/10.1073/pnas.1212111110).

Sze, Jocelyne S., L. Roman Carrasco, Dylan Childs, and David P. Edwards. "Reduced deforestation and degradation in Indigenous Lands pan-tropically". *Nature Sustainability* 5, nº 2 (2022): 123-130. [bit.ly/4nGlgsr](https://doi.org/10.1038/s41892-022-00000-0).

Theeuwes, Jolanda J. E., Arie Staal, Obbe A. Tuinenburg, Bert V. M. Hamelers, e Stefan C. Dekker. "Local moisture recycling across the globe". *Hydrology and Earth System Sciences* 27, nº 7 (2023): 1457-1476. [bit.ly/3JkPOwy](https://doi.org/10.5194/hess-27-1457-2023).

United Nations Environment Programme (UNEP). *Emissions Gap Report 2024*. 2024. [bit.ly/4IJ5TyE](https://www.unep.org/emissions-gap-report-2024).

United Nations Environment Programme (UNEP). *Making Peace With Nature: A scientific blueprint to tackle the climate, biodiversity and pollution emergencies*. 2021. [bit.ly/45yTfxg](https://www.unep.org/making-peace-with-nature).

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). *Report of the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Paris Agreement*. 2024. [bit.ly/45wIT1W](https://unfccc.int/reports-of-the-conference-of-the-parties-cmp/paris-agreement).

Wong, Po Yin, Karlygash Kuralbayeva, Liana O. Anderson, Ana M. Pessoa e Torfinn Harding. "Individual pay for collective performance and deforestation: evidence from Brazil". *Working Papers 110, Queen Mary, University of London, School of Business and Management, Centre for Globalisation Research* (2023). [bit.ly/3TyvJtr](https://www.qmul.ac.uk/business/working-papers/110).

World Bank Group. *World Development Indicators*. 2023. Data de acesso: 05 de maio de 2025. [bit.ly/4mShtlu](https://data.worldbank.org/).

Wren-Lewis, Liam, Luis Becerra-Valbuena e Kenneth Hounghbedji. "Formalizing land rights can reduce forest loss: Experimental evidence from Benin". *Science Advances* 6, nº 26 (2020). [bit.ly/3IIVpHr](https://doi.org/10.1126/sciadv.abc1111).

climatepolicyinitiative.org