



RECOMENDAÇÕES PARA O MONITORAMENTO DA RESTAURAÇÃO NA AMAZÔNIA



ALIANÇA
PELA RESTAURAÇÃO NA
AMAZÔNIA

RECOMENDAÇÕES PARA O MONITORAMENTO DA RESTAURAÇÃO NA AMAZÔNIA



ALIANÇA
PELA RESTAURAÇÃO NA
AMAZÔNIA

2022

RECOMENDAÇÕES PARA O MONITORAMENTO DA RESTAURAÇÃO NA AMAZÔNIA

Edição: Danielle Celentano

Autores principais:

Eduardo Malta Campos Filho | Instituto Socioambiental

Ciro José Ribeiro de Moura | Consultor

Daniel Luis Mascia Vieira | Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia

Danielle Celentano | CI-Brasil

Autores colaboradores:

Andréia Pinto | Imazon

Andrew Miccolis | ICRAF Brasil

Catarina Jakovac | Universidade Federal de Santa Catarina

Henrique Marques | ICRAF Brasil

Joice Ferreira | Embrapa Amazônia Oriental

Julio Ricardo Caetano Tymus | TNC Brasil

Livia Rangel Vasconcelos | Universidade Federal Rural da Amazônia

Marlúcia Martins | Museu Paraense Emílio Goeldi

Silvia de Melo Futada | Instituto Socioambiental

Projeto gráfico e diagramação: Dedê Paiva (www.dedepaiva.com.br)

Ilustrações: Dedê Paiva e Aline Antunes (aquarela)

Fotografias: Ciro José Ribeiro de Moura | Daniel Luis Mascia Vieira | Denys Costa | Erik Lopes | Ernesto Gómez Cardozo | Flavio Forner | Guillaume Rousseau | Livia Rangel Vasconcelos

ISBN: 978-65-00-52836-7

Sugestão de citação: Aliança pela Restauração na Amazônia. 2022.

Recomendações para o monitoramento da restauração na Amazônia. Aliança: Belém-PA.

É permitida a reprodução desde que citada a fonte.

Reproduções para fins comerciais são proibidas.

Realização



Consultoria



Apoio



Apoio à impressão



AGRADECIMENTOS

Esta publicação contou com a colaboração de profissionais de diversas instituições, que participaram de reuniões, oficinas ou responderam a questionários. Agradecemos a Ação Ecológica Guaporé (Ecoporé), Agroícone, Aliança da Terra, Associação Rede de Sementes do Xingu, Bioflora, Black Jaguar Foundation, Centro Internacional de Pesquisa Agroflorestal (ICRAF-Brasil), Companhia Paranaense de Energia (Copel, UHE-Colider), Companhia Teles Pires, Conservação Internacional (CI-Brasil), Consórcio de Pesquisa em Biodiversidade Brasil-Noruega (BRC), Copel Geração e Transmissão S.A., Embrapa Agrobiologia, Embrapa Amazônia Oriental, Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, Instituto Centro de Vida (ICV), Instituto de Conservação e Desenvolvimento Sustentável da Amazônia (Idesam), Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Inpa), Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (Imazon), Instituto Internacional para Sustentabilidade (IIS), Meteonorte Meteorologia, Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG), Pacto pela Restauração da Mata Atlântica, Produzindo Certo, Restauragro, Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental de Rondônia (SEDAM), Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Pará (Semas), Suzano Papel e Celulose, The Nature Conservancy (TNC-Brasil), Universidade Estadual do Maranhão (Uema), Universidade de Indiana (EUA), Universidade Federal de São Carlos (UFSCar/ Sorocaba), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Universidade de São Paulo (Lastrop - ESALQ/USP), Universidade Federal do Oeste do Pará (Ufopa), Universidade Federal do Pará (UFPA), Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Xingu Consultoria Ambiental e Agrária, WRI Brasil e 100% Amazônia.

**Dedicamos à memória de
Heber Queiroz (1985-2021),
Bruno Pereira (1980 – 2022) e
Dom Phillips (1964-2022).**



APRESENTAÇÃO

A **Aliança pela Restauração na Amazônia** (Aliança), criada em 2017, tem como missão articular múltiplos atores para promover a restauração na Amazônia como uma estratégia integrada à conservação e com benefícios socioeconômicos compartilhados (<https://aliancaamazonia.org.br/>). A Aliança busca ser um espaço de referência na integração e interlocução multisetorial para dar escala à restauração florestal no Bioma. Desde 2020, a Aliança é o capítulo amazônico da Sociedade Brasileira de Restauração Ecológica (SOBRE).

O fortalecimento das iniciativas de restauração, conectando esforços globais e locais de combate à crise climática, desigualdade social e perda de biodiversidade, é um importante objetivo estratégico da Aliança. Dentre os focos de atuação da Aliança, destacam-se a geração, sistematização e difusão de conhecimento sobre restauração florestal, assim como a disponibilização de protocolos e ferramentas que permitam a integração de dados para o monitoramento e avaliação da restauração na Amazônia.

O objetivo deste documento é apresentar recomendações técnicas para o monitoramento da restauração com diferentes objetivos, escalas, capacidade técnica e financeira. O monitoramento de indicadores ecológicos e socioeconômicos da restauração afere sua contribuição para mitigar as mudanças climáticas, conservar a biodiversidade e gerar qualidade de vida, trabalho e renda.¹ A Aliança pretende com este documento favorecer o diálogo e a aprendizagem colaborativa das iniciativas de restauração florestal na região. Este documento foi construído a muitas mãos, por meio de consultas, oficinas e encontros virtuais. Ele se destina a todos os atores da restauração, inclusive investidores,



financiadores, executores, pesquisadores, gestores públicos, encarregados de manejar, relatar e avaliar o cumprimento de metas de projetos de restauração.

O documento apresenta recomendações de indicadores para o monitoramento dos serviços ecossistêmicos e biodiversidade, recomendações para os Programas de Regularização Ambientais (PRAs) estaduais e algumas reflexões para o monitoramento da dimensão socioeconômica da restauração. Essas recomendações são um primeiro passo para a definição e adoção de protocolos de monitoramento. Estes deverão ser acompanhados por capacitações e pelo desenvolvimento de guias e aplicativos como ferramentas de apoio e pela criação de bases de dados *online* para receber, armazenar e analisar esses dados. A Aliança, juntamente com seus membros e parceiros, pretende colaborar com o desenvolvimento contínuo dessas ferramentas para garantir transparência e qualidade às iniciativas de restauração florestal na Amazônia, assim como apoiar os estados amazônicos na regulamentação e padronização de instrumentos para um sistema de monitoramento da restauração.

Rodrigo Freire (TNC) - Secretário Executivo
Giovana Baggio - Secretária Executiva Operacional



ÍNDICE

AGRADECIMENTOS 5

APRESENTAÇÃO 6

RESUMO GRÁFICO 10

LISTA DE SIGLAS 12

1. INTRODUÇÃO À RESTAURAÇÃO 13

1.1. A Restauração na Agenda Global 15

1.2. A Restauração na Agenda Nacional 16

1.3. A Restauração na Amazônia 20

2. O MONITORAMENTO DA RESTAURAÇÃO 21

2.1. Monitoramento dos Serviços Ecosistêmicos e da Biodiversidade 28

2.2. Monitoramento Socioeconômico 40



3. MONITORAMENTO NOS PROGRAMAS DE REGULARIZAÇÃO AMBIENTAL ESTADUAIS **43**

3.1. Recomendações para o Monitoramento nos PRAs na Amazônia **49**

4. ANEXOS **54**

Indicador 1: Cobertura de vegetação nativa **55**

Indicador 2: Cobertura do solo por plantas indesejáveis **57**

Indicador 3: Cobertura do dossel **59**

Indicador 4: Biomassa **62**

Indicador 5: Heterogeneidade estrutural **65**

Indicador 6: Biodiversidade **67**

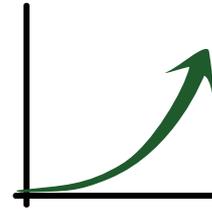
Indicador 7: Regenerantes nativos (ou árvores nativas) **68**

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS **69**



RESUMO GRÁFICO

MONITORAMENTO DA RESTAURAÇÃO



Realização de medições periódicas para avaliar se os objetivos da restauração são atingidos nos prazos esperados.

A definição de indicadores e métodos de amostragem depende do objetivo, da escala, da idade, da capacidade técnica e financeira.

Indicadores de campo são indispensáveis para os proprietários rurais e restauradores, enquanto o sensoriamento remoto é ideal para o gerenciamento dos estados e do país.

INDICADORES PARA O MONITORAMENTO DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS E DA BIODIVERSIDADE:



cobertura do solo por plantas indesejáveis ↓



cobertura de vegetação nativa ↑





Os Indicadores ecológicos de restauração no âmbito do PRA devem ser de fácil obtenção, como: cobertura de vegetação nativa, biomassa (ou área basal) e número de espécies.



O monitoramento da dimensão socioeconômica é fundamental para indicar o sucesso de projetos e programas de restauração para as pessoas e para a sociedade.



cobertura do dossel



biodiversidade



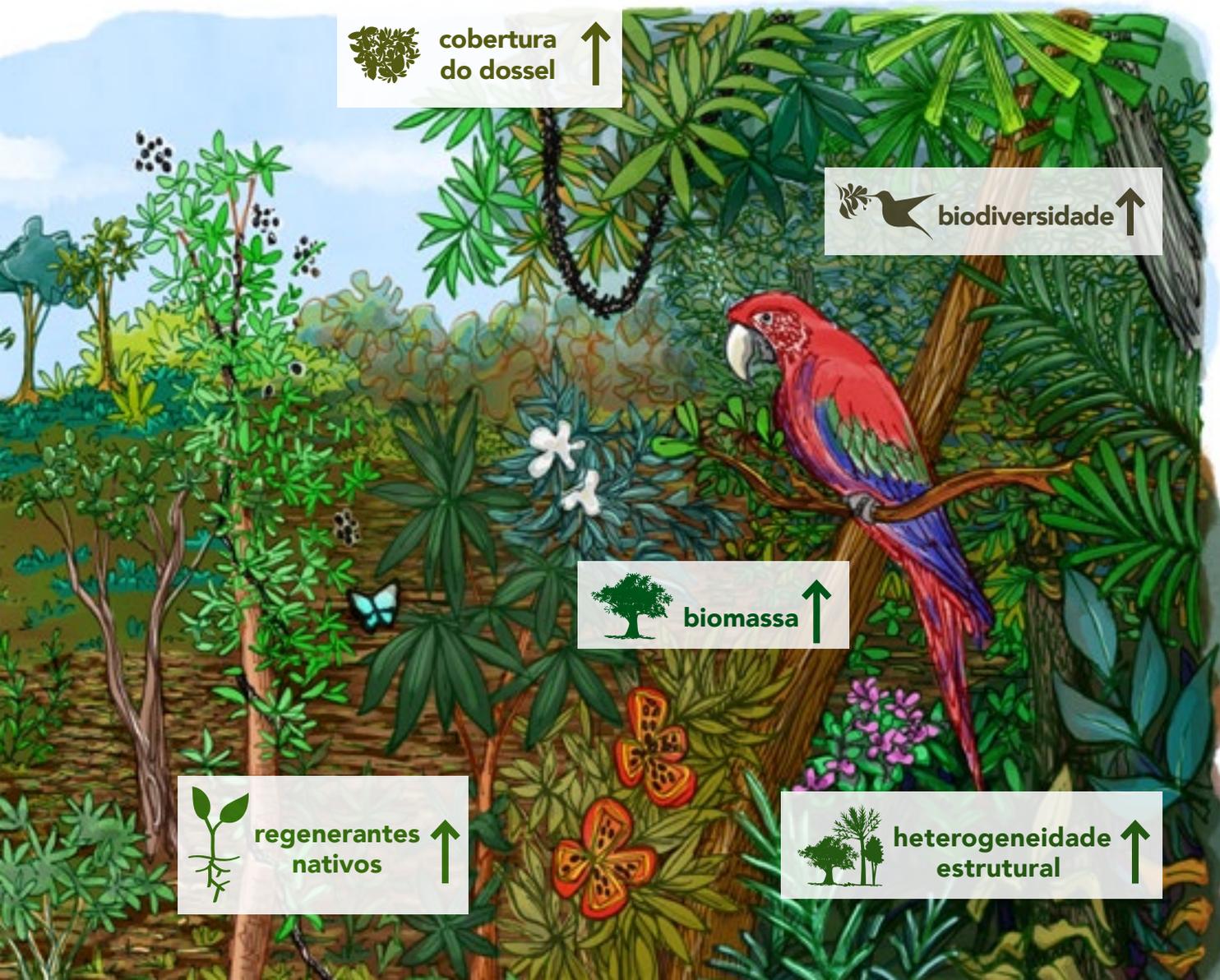
biomassa



regenerantes nativos



heterogeneidade estrutural



LISTA DE SIGLAS

APP	Área de Preservação Permanente
CAR	Cadastro Ambiental Rural
CDB	Convenção sobre Diversidade Biológica
COP	Conferência das Partes
DAP	Diâmetro à Altura do Peito
GEE	Gases de Efeito Estufa
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
Lidar	Light Detection and Ranging
LPVN	Lei de Proteção da Vegetação Nativa (Lei 12.651/ 2012)
NDC	Contribuição Nacionalmente Determinada
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
Oemas	Órgãos Estaduais de Meio Ambiente
ONG	Organização Não-governamental
ONU	Organização das Nações Unidas
OSC	Organização da Sociedade Civil
Pacto	Pacto pela Restauração da Mata Atlântica
Planaveg	Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa
PRA	Programa de Regularização Ambiental
PRADA	Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas e Alteradas
Proveg	Política Nacional para Recuperação da Vegetação Nativa (Decreto 8.972/2017)
PSA	Pagamento por Serviços Ambientais
RL	Reserva Legal
SAF	Sistema Agroflorestal
SER	Sociedade para a Restauração Ecológica Internacional
SOBRE	Sociedade Brasileira de Restauração Ecológica
TAC	Termo de Ajuste de Conduta
TC	Termo de Compromisso



1. INTRODUÇÃO À RESTAURAÇÃO

A Restauração Ecológica é o processo intencional de ajudar o restabelecimento de um ecossistema degradado, danificado ou destruído.² A meta da restauração é garantir que com o tempo o ecossistema reestabeleça suas funções e processos ecológicos, atingindo níveis similares aos do ecossistema original. Diferentes métodos têm sido propostos para iniciar ou acelerar a restauração de florestas. A Restauração Passiva através da condução da **Regeneração Natural** é o método mais barato, mas só é efetivo onde há alto potencial de regeneração. Em áreas mais degradadas é preciso usar técnicas de Restauração Ativa, por meio de diferentes arranjos de plantios de sementes e mudas. Existe um contínuo de métodos intermediários que misturam as estratégias passiva e ativa. O sucesso de um projeto de restauração começa por um bom diagnóstico ambiental da área a ser restaurada e do seu entorno, passa pela definição clara dos objetivos para a escolha do método mais adequado, mas depende do interesse e do comprometimento de quem detém a posse da terra.

Regeneração natural: processo pelo qual espécies nativas se estabelecem em uma área sem que este processo tenha ocorrido deliberadamente por meio de intervenção humana (Brasil, Decreto nº 8.972/2017).



Um dos maiores desafios da restauração é passar da escala local (do projeto) para a escala da paisagem. Somente na escala da paisagem é possível integrar a restauração da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos com a produção agrícola e a qualidade de vida da população. A Restauração de Paisagens Florestais é um conceito mais amplo que inclui a recuperação das funções ecológicas e a melhoria do bem-estar humano em paisagens florestais desmatadas ou degradadas³, admitindo assim métodos de Restauração Produ-



Sistema Agroflorestal (SAF): sistema de uso e ocupação do solo em que plantas lenhosas perenes são manejadas em associação com plantas herbáceas, arbustivas, arbóreas, culturas agrícolas, forrageiras em uma mesma unidade de manejo, de acordo com arranjo espacial e temporal, com alta diversidade de espécies e interações entre estes componentes (Brasil, Decreto nº 7.830/2012).

tiva, como os **Sistemas Agroflorestais (SAFs)**, a Silvicultura de espécies nativas e o Enriquecimento de florestas manejadas, degradadas e secundárias com espécies de interesse econômico. A escolha do método de restauração mais apropriado para uma área dependerá do estado de degradação, dos resultados desejados e do capital financeiro disponível⁴, assim como do marco legal, do contexto sociocultural e das oportunidades socioeconômicas.

1.1. A RESTAURAÇÃO NA AGENDA GLOBAL

O papel da restauração para a mitigação e adaptação às mudanças climáticas é fundamental no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) e do Acordo de Paris. A restauração florestal é considerada a Solução Baseada na Natureza (ou NBS, do inglês)⁵ mais eficiente para o sequestro de carbono atmosférico⁶. No contexto da conservação da Biodiversidade, a restauração está presente na Visão e em metas do Marco Global para a Biodiversidade Pós-2020, da Convenção sobre Diversidade Biológica

(CDB). Além de ser uma agenda do clima, da conservação da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos, a restauração também é uma agenda de desenvolvimento humano. Todos os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) promulgados pela Organização das Nações Unidas (ONU)⁷ podem ser positivamente impactados pela restauração de ecossistemas⁸. Justamente por se tratar de uma agenda vital para a humanidade, a ONU declarou esta a **Década da Restauração de Ecossistemas** (2021 e 2030). Trata-se de um chamado global para curar o planeta. No contexto da Década, a restauração de ecossistemas engloba um amplo número de atividades que contribuem para proteger os ecossistemas intactos e para reparar os ecossistemas degradados.⁹



<https://www.decadeonrestoration.org/>

1.2. A RESTAURAÇÃO NA AGENDA NACIONAL

O Brasil se comprometeu com o Acordo de Paris celebrado durante a Conferência das Partes (COP 21) em 2015. A Contribuição Nacionalmente Determinada (ou NDC, do inglês) pelo Brasil para atingir o objetivo da Convenção das Nações Unidas sobre Mudança do Clima é de restaurar e reflorestar 12 milhões de hectares de florestas até 2030, dos quais 4,8 milhões estão na Amazônia.¹⁰ Este compromisso, ratificado pelo Congresso Nacional em 2016 e promulgado em 2017 (Decreto nº 9.073), está alinhado a outras iniciativas globais às quais o Brasil também aderiu, como o Desafio de Bonn e a Iniciativa 20 x 20. Em

2021, durante a COP 26 em Glasgow, o Ministro do Meio Ambiente anunciou uma ampliação da meta brasileira para 18 milhões de hectares. As metas de restauração estão ancoradas no arcabouço legal brasileiro que prevê proteção e restauração de ecossistemas nativos, em áreas públicas e privadas.

A Lei de Proteção da Vegetação Nativa (LPVN, Lei nº 12.651/2012), chamada de “Novo” Código Florestal, trouxe mecanismos com a finalidade de integrar informações ambientais dos imóveis rurais e de promover a regularização ambiental daqueles com passivos de **Áreas de Preservação Permanente (APP)** e de **Reserva Legal (RL)**:



Área de Preservação Permanente (APP): área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (Lei nº 12.651/2012).

Reserva Legal (RL): área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, delimitada nos termos do art. 12, com a função de assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais do imóvel rural, auxiliar a conservação e a reabilitação dos processos ecológicos e promover a conservação da biodiversidade, bem como o abrigo e a proteção de fauna silvestre e da flora nativa (Lei nº 12.651/2012).

o **Cadastro Ambiental Rural (CAR)** e o **Programa de Regularização Ambiental (PRA)**. Para impulsionar a agenda de restauração, foi estabelecida a Política Nacional para Recuperação da Vegetação Nativa – Proveg (Decreto nº 8.972/2017) cujo principal instrumento de implementação é o Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (Planaveg). No âmbito da Proveg, a recuperação (ou recomposição) da vegetação nativa é definida como restituição da cobertura vegetal nativa por meio de implantação de SAF, de reflorestamento, de regeneração natural, de reabilitação ecológica e de restauração ecológica. A LPVN autoriza o plantio de espécies exóticas em até 50% da área total a ser recomposta na Reserva Legal.

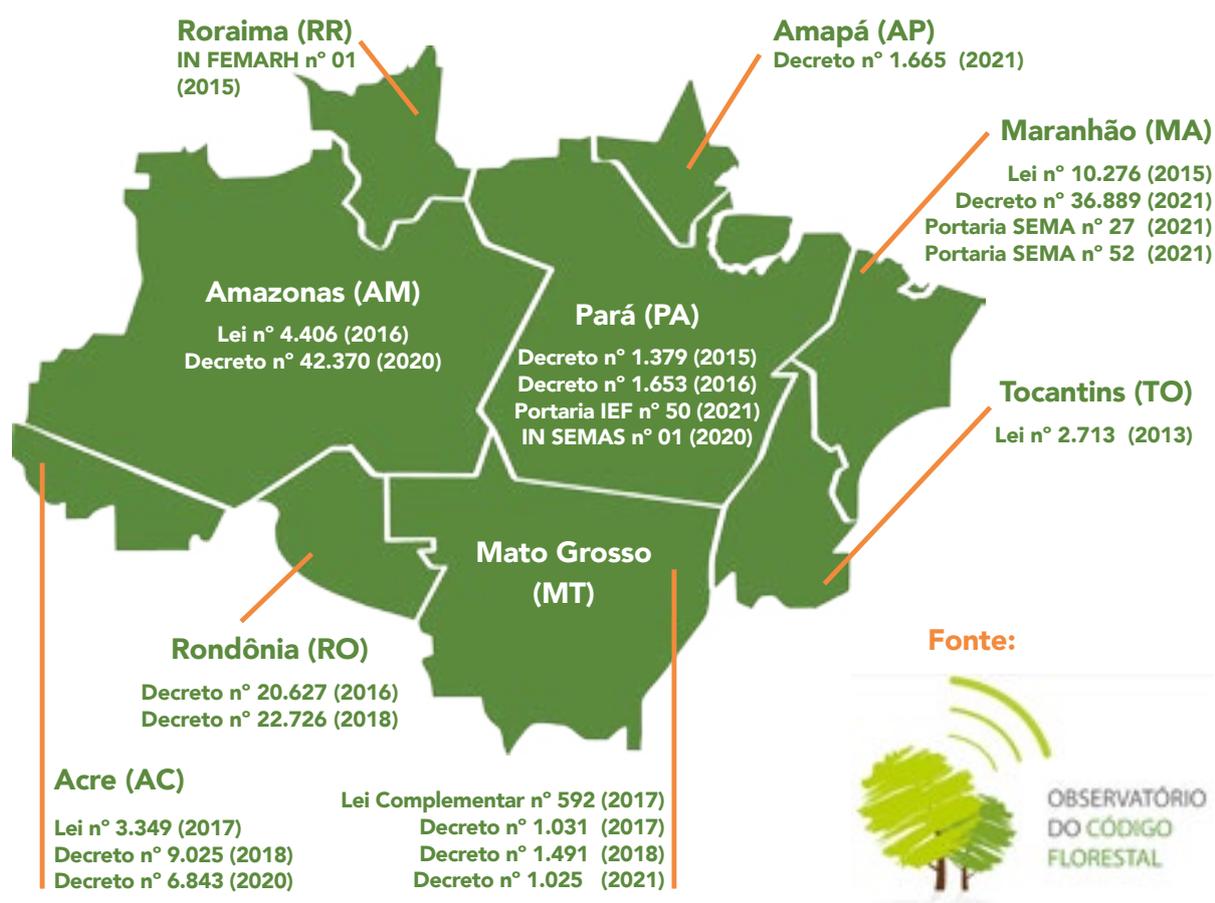
O Cadastro Ambiental Rural (CAR) é o registro público eletrônico obrigatório para todos os imóveis rurais, com a finalidade de integrar as informações ambientais das propriedades e posses rurais. Em 2012 foi dado um prazo para que todos os imóveis rurais fossem cadastrados no CAR através de um processo auto declaratório. Após a análise e validação dos cadastros, os proprietários rurais com passivos deveriam assinar Termos de Compromisso (TC) para adesão ao PRA, e isso seria uma condicionante para ter acesso ao crédito rural. Mas, após diversas prorrogações, o prazo final para o CAR foi retirado.

Segundo o Serviço Florestal Brasileiro¹¹, existe cerca de 1 milhão de CARs na Amazônia, o que equivale a uma área de 330 milhões de hectares. No entanto, apenas 2% desses cadastros tiveram análise da sua regularidade ambiental concluída pelos órgãos estaduais competentes até abril de 2022. Isso deve-se às limitações de recursos humanos, tecnológicos e financeiros, além de dificuldades judiciais por inconformidades nas propriedades declaradas. A análise e a validação desses cadastros são essenciais para garantir a regularidade do imóvel, já que existem cadastros fraudulentos em Áreas Protegidas e em áreas públicas não destinadas.

Embora a implementação da LPVN ainda seja baixíssima, espera-se que nas próximas décadas o PRA seja um importante indutor da restauração na região. Em 2014, estimava-se que o passivo florestal na Amazônia fosse de mais de 8 milhões de hectares (90% em RL e 10% em APP)¹², dos quais pelo menos 5 milhões de hectares deveriam ser restaurados e o restante poderia ser compensado por meio de outros mecanismos previstos pela LPVN.

Todos os estados Amazônicos regulamentaram o PRA, mas até maio de 2022 apenas quatro (AC, MT, PA e RO) tiveram adesão de imóveis rurais. Produtores rurais comprometidos com as Leis, com a sustentabilidade agroambiental do país e com a comercialização de seus produtos em mercados exigentes devem se antecipar e investir na regularização ambiental e restauração de seus imóveis. O desenvolvimento sustentável na região amazônica depende do comprometimento de todos os setores da sociedade com a conservação, o manejo e a restauração florestal.

REGULAMENTAÇÕES DOS PROGRAMAS DE REGULARIZAÇÃO AMBIENTAL (PRA) NOS ESTADOS DA AMAZÔNIA (atualizado em maio de 2022)



O Observatório do Código Florestal (<https://observatorioflorestal.org.br/>) monitora a implementação da LPVN no Brasil e disponibiliza conteúdos atualizados, inclusive as normativas estaduais.

1.3. A RESTAURAÇÃO NA AMAZÔNIA

Florestas em regeneração ocupam cerca de 20% da área que foi desmatada na Amazônia (4% da região) e podem contribuir com 5,5% da meta de redução líquida de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) do Brasil.¹³ Florestas regeneradas ou restauradas podem alcançar características semelhantes às das florestas maduras após algumas décadas ou séculos.^{14,15} Para isso, é fundamental a permanência de longo prazo das áreas restauradas e das florestas secundárias na paisagem. Portanto, é necessário um compromisso formal de todos os atores públicos e privados com a restauração, através da destinação legal de terras para a restauração e da sua proteção contra queimadas e outros fatores de degradação, assim como incentivos para o uso sustentável e conservação de todas as florestas. Esse processo requer a implementação, o cumprimento e a fiscalização das leis ambientais do país, investimentos financeiros nas áreas em restauração e na estruturação de arranjos regionais da cadeia da restauração.

Na Amazônia, a restauração florestal pode contribuir para um novo paradigma de desenvolvimento socioambiental, com protagonismo dos povos e comunidades locais.¹⁶ A restauração deve ser um meio de promover a sustentabilidade e o bem-estar na Amazônia. Assim, investimentos são necessários para fortalecer a organização comunitária e construir capacidades locais, não apenas como força de trabalho, mas também como partícipes dos processos de tomada de decisão. O Painel Científico na Amazônia¹⁷ elenca valores indispensáveis para o desenvolvimento sustentável na região, entre eles: (i) reconhecimento e respeito aos direitos, leis e valores locais; (ii) processo de tomada de decisão inclusivos; (iii) incorporação do conhecimento local nas políticas; e (iv) fortalecimento da governança territorial. Esses valores devem ser considerados por projetos, programas e políticas de restauração florestal. Ignorar a dimensão social da restauração pode levar ao fracasso das intervenções na região ou até favorecer o aumento de conflitos sociais.

2. O MONITORAMENTO DA RESTAURAÇÃO

A efetividade da restauração, seja na escala da regularização ambiental da propriedade rural ou de programas e compromissos globais precisa de uma forma pactuada de quantificar e qualificar periodicamente os resultados ecológicos e socioeconômicos da restauração, através do monitoramento. O monitoramento da restauração consiste em realizar medições periódicas para avaliar se os objetivos e as metas do processo de restauração estão sendo atingidos nos prazos esperados. Essa avaliação se dá por meio de (i) indicadores ecológicos, que indicam o estado ecológico da área em restauração ou da paisagem em que está inserida, e (ii) indicadores socioambientais e de governança, que indicam o sucesso do projeto para as pessoas e para sociedade.

A definição dos indicadores e dos métodos mais adequados de monitoramento dependerá da escala, do objetivo, da duração e da capacidade técnica e financeira do programa ou projeto de restauração. Em escala nacional, o monitoramento visa aferir o cumprimento de metas e compromissos como a NDC. Com esse propósito, indicadores mensuráveis através de análises espaciais em larga escala são mais adequados. Na escala de programas, projetos ou até mesmo da propriedade rural, o monitoramento em campo é o mais adequado para avaliar o sucesso da ação de restauração quanto aos objetivos e metas estabelecidos.

Os três principais objetivos do monitoramento da restauração, independente da escala, são:

- (1) Reportar o alcance de metas de serviços ecossistêmicos e de biodiversidade, como conservação de espécies, sequestro de carbono, manutenção da polinização, conservação de corpos de água;
- (2) Aferir o cumprimento de demandas legais, como a regularização ambiental, através de indicadores que permitem avaliar o sucesso da restauração comparado a valores de referência;
- (3) Dar suporte às decisões durante a implementação de projetos. Os indicadores monitorados orientam a tomada de decisão sobre a manutenção e o **Manejo Adaptativo** necessário para cada área. Medidas de manejo podem incluir replantios, enriquecimento, adubação, entre outras ações deliberadas para que a área siga na trajetória desejada.



Manejo adaptativo: são intervenções deliberadas no ecossistema durante sua trajetória, visando superar filtros ou barreiras que dificultem sua evolução rumo ao estado desejado (Glossário do Pacto pela Restauração da Mata Atlântica: <https://pactomataatlantica.org.br/glossario/>).

Indicadores de restauração são métricas (ou variáveis) que informam o estado de um ecossistema em restauração, ou parâmetros socioeconômicos do local onde a restauração está sendo realizada. Os indicadores podem ser qualitativos, avaliados por meio da simples observação (por exemplo, presença de processos erosivos), ou quantitativos, avaliados por medidas diretas (como a densidade e a diversidade de árvores por hectare, o número de empregos gerados, entre outros). Os indicadores de restauração são classificados de diferentes formas por diversos autores. A Sociedade Internacional para a Restauração Ecológica (SER) sugere um conjunto de indicadores agrupados em seis atributos para o monitoramento Ecológico e outros seis para o monitoramento da Dimensão Humana da Restauração (BOX 1).^{18, 19}

Para a geração de conhecimento sobre métodos de restauração, monitoramento, arranjos e governança, são necessárias avaliações detalhadas de múltiplos indicadores. Para a prática da restauração, os recursos financeiros e humanos direcionados para o monitoramento da restauração são escassos. Assim, o processo precisa ser bem planejado, evitando redundância e retrabalho. O monitoramento deve demonstrar acuradamente o alcance dos resultados ou informar sobre as ações de manejo necessárias.

EXEMPLOS DE OBJETIVOS DE MONITORAMENTO DA RESTAURAÇÃO EM FUNÇÃO DA ESCALA E GRUPOS INTERESSADOS

ESCALA	RESPONSÁVEIS/ INTERESSADOS	EXEMPLOS DE OBJETIVOS
<p>Propriedade</p>  <p>100 m 100 km</p>	 <p>Proprietário rural Comunidades</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cumprir a legislação ✓ Obter Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) ✓ Obter certificações e selos ✓ Orientar o manejo e a manutenção
<p>Projeto Programa</p>  <p>1.000 km 2.000 km</p>	 <p>Oemas Consórcio de municípios Setor do agronegócio OSC</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Medir o sucesso de projetos ✓ Melhorar situação dos recursos hídricos ✓ Estabelecer corredores de biodiversidade ✓ Estabelecer paisagens sustentáveis ✓ Recuperar parte do bioma
<p>Bioma País</p>  <p>10.000 km</p>	 <p>Estado Governos Organizações multilaterais</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Determinar a Contribuição Nacional Determinada (NDC)

A adoção de Protocolos de Monitoramento, com indicadores e métodos de amostragem padronizados, permite avaliar o impacto da restauração e comparar resultados entre projetos, a fim de identificar aprimoramentos das políticas e programas, mesmo que em diferentes contextos ecológicos e socioeconômicos. Protocolos de monitoramento padronizados otimizam recursos, aumentam a segurança jurídica dos responsáveis pela terra, investidores e órgãos públicos envolvidos. No entanto, a definição e adoção de protocolos únicos depende de muitos fatores e esferas de decisão.

Considerando os diferentes objetivos e escalas da restauração, a Aliança reuniu neste estudo os principais indicadores utilizados por especialistas e que tem se mostrado eficientes para um bom monitoramento e avaliação da restauração. Este estudo apresenta indicadores ecológicos (sub-seção 2.1) e reflexões para o monitoramento socioeconômico (sub-seção 2.2), assim como recomendações para o monitoramento no âmbito dos PRAs (seção 3), considerando indicadores de fácil amostragem, baixo custo, sensíveis a mudanças temporais na vegetação, e replicáveis. Finalmente, todos os indicadores apresentados neste documento estão descritos detalhadamente nos Anexos.

Atualmente, a Aliança também colabora com outros três processos relativos ao monitoramento da restauração que estão em andamento no Brasil:

- (1) Observatório da Restauração e do Reflorestamento: plataforma desenvolvida pela Coalizão Brasil Clima, Florestas e Agricultura e outras instituições que reúne dados de restauração, reflorestamento e regeneração no país (<https://observatoriodarestauracao.org.br>);
- (2) Protocolo de Monitoramento da Restauração via Sensoriamento Remoto: documento em desenvolvimento pelo Pacto pela Restauração da Mata Atlântica (Pacto) em parceria com instituições governamentais, não-governamentais e privadas, e especialistas das áreas de tecnologia, restauração e sensoriamento remoto. Espera-se que nos próximos meses esteja consolidada uma ferramenta para uso dos diversos atores da restauração; e
- (3) Protocolo de Monitoramento Socioeconômico da Restauração: documento em desenvolvimento pelo Pacto em parceria com instituições governamentais e não-governamentais e especialistas da restauração e das ciências sociais, que será uma importante referência na área. Espera-se que nos próximos meses ele esteja consolidado, permitindo a participação efetiva das populações interessadas e impactadas por projetos de restauração.

BOX 1:

A RESTAURAÇÃO CINCO ESTRELAS (SER)

A Sociedade Internacional para a Restauração (SER) sugere o uso de um conjunto de indicadores para o monitoramento da restauração, agrupados em seis atributos-chave (ecológicos e sociais). Esse sistema permite medir, classificar e avaliar o desenvolvimento da restauração ao longo do tempo e em comparação ao ecossistema de referência. A partir do resultado do monitoramento desses indicadores, a SER sugere um sistema de classificação da restauração que varia de 1 a 5 estrelas.

RODA DA RECUPERAÇÃO PARA O MONITORAMENTO ECOLÓGICO



Atributos ecológicos:

- **Ausência de ameaças ou fatores de degradação:** Ausência (ou ações de controle) de ameaças diretas, como fogo, desmatamento, gado, contaminação ou espécies invasoras.
- **Condições físicas:** Presença das condições ambientais necessárias para sustentar o ecossistema, inclusive as condições físicas e químicas do solo e da água.
- **Composição de espécies:** Presença de espécies nativas características do ecossistema de referência, e ausência de espécies indesejáveis.
- **Diversidade estrutural:** Presença e diversidade adequada dos principais componentes estruturais (estágios demográficos, níveis tróficos, estratos de vegetação e diversidade espacial).

- **Função Ecosistêmica:** Níveis apropriados de taxa de crescimento e produtividade, regeneração, ciclagem de nutrientes, decomposição e outras funções.
- **Trocas externas:** Integração adequada da área em restauração com a paisagem do entorno ou ambiente aquático por meio de trocas externas, fluxos abióticos e bióticos.

RODA DA RECUPERAÇÃO PARA O MONITORAMENTO SOCIAL



Atributos sociais:

- **Engajamento:** Envolver a sociedade local através de apoio técnico e capacitação.
- **Distribuição dos benefícios:** Partilhar benefícios e oportunidades com as comunidades locais.
- **Enriquecimento do saber:** Absorver o conhecimento formal e informal e compartilhar igualmente os resultados.
- **Capital Natural:** Restaurar os recursos naturais (água, solo, carbono, espécies de interesse) para benefícios na escala local.
- **Economias sustentáveis:** Estabelecer modelos econômicos sustentáveis e justos.
- **Bem-estar comunitário:** Melhorar os laços sociais, sentido de pertencimento, saúde e bem-estar.

(fonte: SER, 2017).^{18,19}



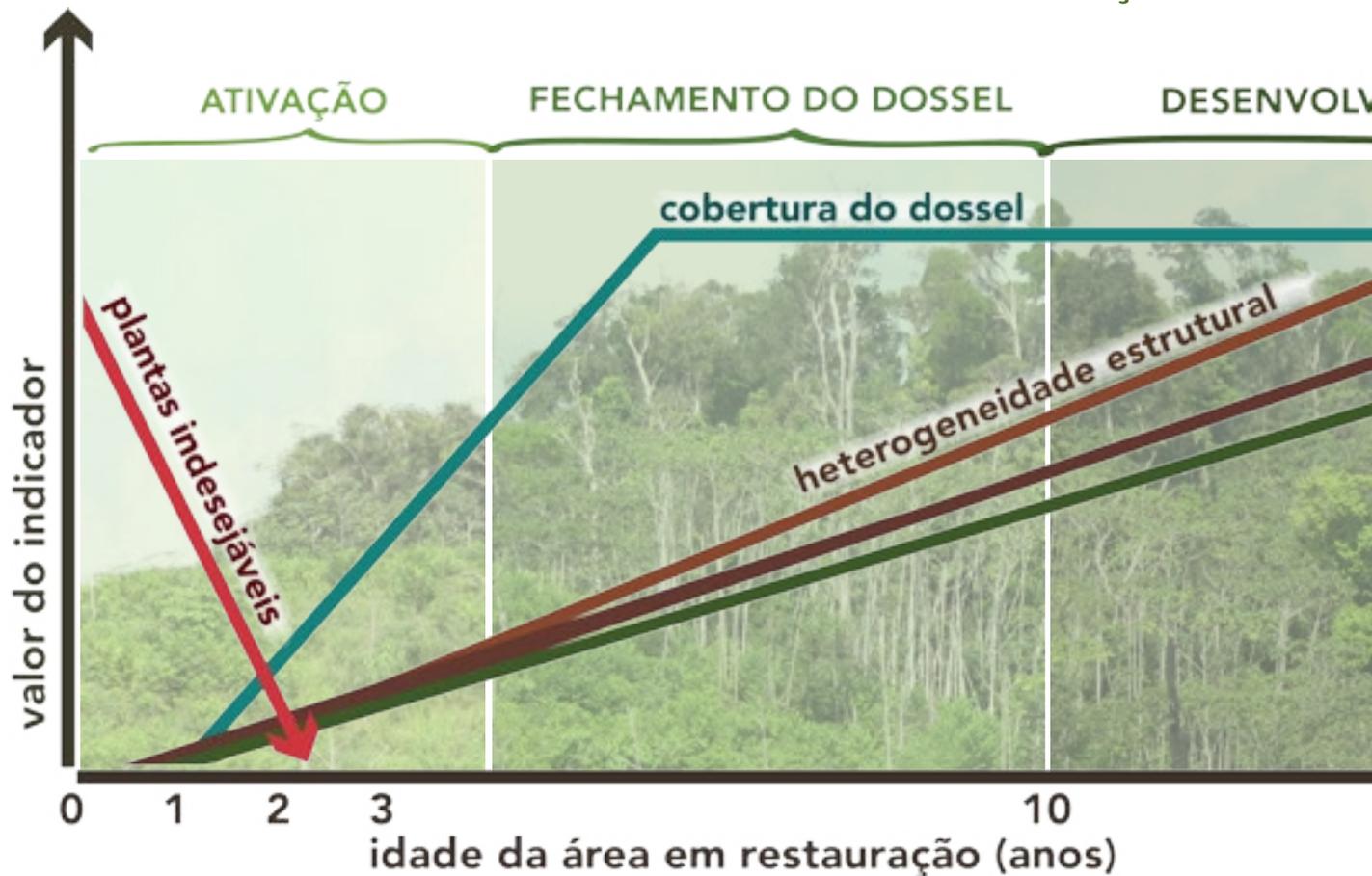
2.1. MONITORAMENTO DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS E DA BIODIVERSIDADE

No monitoramento ecológico da restauração, os indicadores são usados para medir e descrever o estado atual do ecossistema em restauração, avaliar sua evolução ao longo do tempo ou compará-lo com um **ecossistema de referência**. Alguns indicadores de monitoramento também são utilizados como previsores ou 'indicadores de futuro' (leading indicators, em inglês). São métricas que podem ser medidas hoje para indicar o estado futuro da área em restauração. A relevância de um indicador pode mudar ao longo do tempo da restauração.²⁰ Um bom indicador para o início do projeto pode não ser adequado em estágios avançados e vice-versa. O dossel, por exemplo, pode atingir seu fechamento completo em poucos anos, após isso já não acrescentará informações para o monitoramento. Indicadores de biomassa, por outro lado, iniciam devagar e demandam mais tempo para atingir os valores máximos. Assim, a seleção de indicadores precisa ser compatível com as fases da restauração.



Ecosistemas de referência: áreas remanescentes que possuem atributos e uma fase sucessional semelhante à área em restauração (SER).

COMPORTAMENTO ESPERADO DE INDICADORES AO LONGO DO TEMPO E NAS DIFERENTES FASES DA RESTAURAÇÃO



AS FASES DA RESTAURAÇÃO:

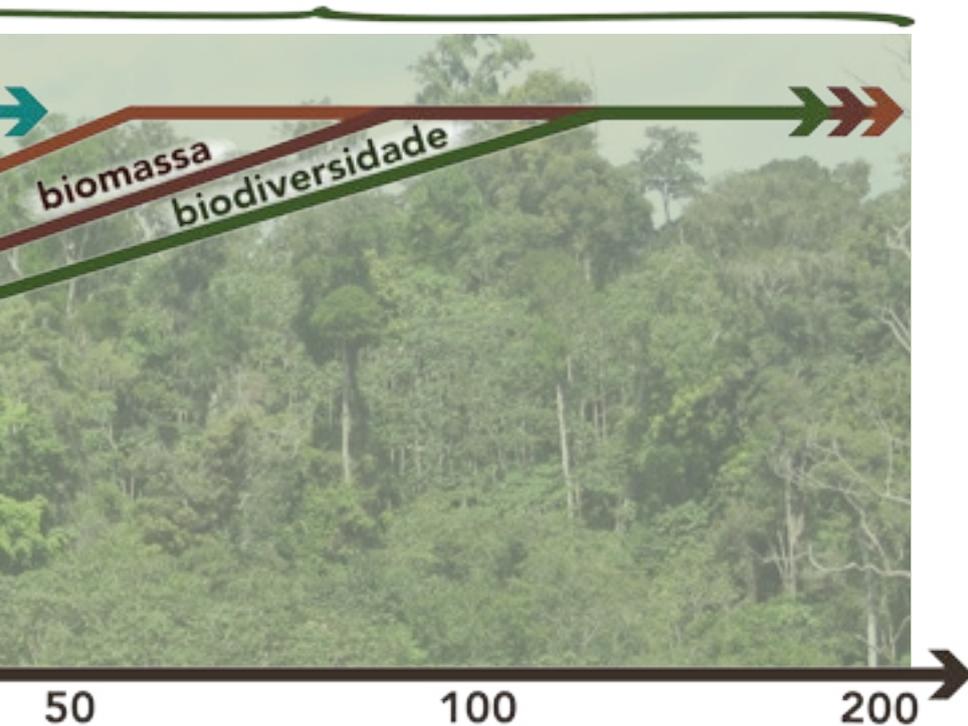
Fase 1: ATIVAÇÃO

Fase crucial do processo da restauração de florestas tropicais quando as gramíneas (ou outras espécies indesejáveis) perdem a dominância da área e começam a ser substituídas por plantas lenhosas nativas (plantadas ou regenerantes), apenas com essa mudança de equilíbrio ou “virada” é possível que os demais processos da restauração se desencadeiem. Nessa fase, é importante monitorar a cobertura de capim exótico e outras espécies indesejáveis. Também recomenda-se monitorar a chegada de regenerantes e o estabelecimento das sementes e mudas plantadas, quando for o caso.

Fase 2: FECHAMENTO DO DOSSEL

Fase onde há estruturação da floresta com a cobertura da copa das árvores estabelecidas (plantadas ou regenerantes), independente da diversidade de

DESENVOLVIMENTO E COMPLEXIFICAÇÃO



NOTA DE PRECAUÇÃO:

Os tempos (em anos) apresentados são estimativas para áreas que tem bom desenvolvimento, áreas mais degradadas podem demorar mais tempo para se desenvolver.

espécies. Com a diminuição da incidência de luz solar e mudança do microclima (diminuição da temperatura e aumento da umidade), cria-se condições para a chegada e estabelecimento de novas espécies, inclusive de fases tardias da sucessão. Nessa fase é importante avaliar a cobertura do dossel. Recomenda-se também monitorar a chegada de regenerantes, o estabelecimento e o desenvolvimento das espécies plantadas e regenerantes.

Fase 3: DESENVOLVIMENTO E COMPLEXIFICAÇÃO

Após o fechamento do dossel, com a chegada de novas espécies, espera-se que a floresta em restauração comece uma fase de desenvolvimento e complexificação, com aumento da heterogeneidade estrutural e ganho de biomassa e de biodiversidade (indicadores que devem ser medidos para aferir se a integridade ecológica está sendo recuperada). As populações indígenas costumam medir o sucesso da restauração nessa fase pelo retorno dos animais, principalmente os de caça.

INDICADORES PARA O MONITORAMENTO ECOLÓGICO DA RESTAURAÇÃO.

indicador 1:

COBERTURA DE VEGETAÇÃO NATIVA

É uma medida da cobertura do solo por vegetação nativa, como florestas, savanas ou campos nativos, indicando se há perda (desmatamento) ou ganho (regeneração ou restauração). A cobertura de vegetação nativa e sua ausência são utilizadas para a delimitação de passivo ambiental e para monitorar a recomposição no âmbito da LPVN. As áreas de remanescente de vegetação nativa são definidas como as áreas com vegetação em estágio primário ou secundário avançado (Brasil, Decreto nº 7.830/2012).



Guillaume Rousseau



indicador 2:

COBERTURA DO SOLO POR PLANTAS INDESEJÁVEIS

É uma medida da porcentagem da área em restauração que está coberta por espécies indesejáveis. É importante medir porque o sucesso da restauração depende do controle e substituição dessas espécies. Por exemplo, a competição de regenerantes nativos com gramíneas agressivas (mato-competição) é uma das principais barreiras para a restauração de florestas tropicais²¹. As gramíneas competem por luz, água e nutrientes com as mudas e regenerantes naturais, diminuindo a taxa de emergência, sobrevivência e crescimento de plântulas de espécies nativas.

Espécies indesejáveis: A correta identificação dessas plantas é prioritária na capacitação técnica em restauração, tanto para realizar bons diagnósticos e planejamentos, quanto para o monitoramento da restauração. Atualmente existem guias e base de dados para orientar os restauradores no Brasil:

- **Guia de plantas não desejáveis na restauração florestal** ▶ (Sartorelli, et al. 2018., disponível em <https://sobrestauracao.org/documentos/guia-plantas-nao-desejaveis.pdf>)



- **Base de Dados Nacional de Espécies Exóticas Invasoras:**

disponível em <http://bd.institutohorus.org.br/www/>



indicador 3:



COBERTURA DO DOSSEL

É uma medida da porcentagem da área em restauração florestal que está coberta pelas copas das árvores mais altas, ignorando aquelas abaixo delas, indica a incidência de luz no solo da área em restauração. É importante medir porque nas florestas a cobertura do dossel é capaz de controlar gramíneas invasoras por sombreamento. Com o dossel fechado ($\geq 80\%$), são criadas condições de microclima, solo e estrutura de habitat para o ingresso e o estabelecimento de espécies florestais de sucessão tardias.

indicador 4:



BIOMASSA

É uma medida da massa da matéria viva e indica o carbono estocado nas plantas vivas e mortas, na serrapilheira e no solo. É importante medir pois as florestas são um reservatório significativo de carbono e o seu sequestro é uma das principais motivações para a restauração de florestas na atualidade (BOX 2).²² Em áreas em regeneração na Amazônia, foi identificada uma correlação entre incrementos de carbono (principalmente em árvores) e a biodiversidade ao longo do tempo²³, portanto, o estoque de carbono representa um indicador indireto do nível de restauração da funcionalidade e biodiversidade de uma área.

NOTA DE PRECAUÇÃO:

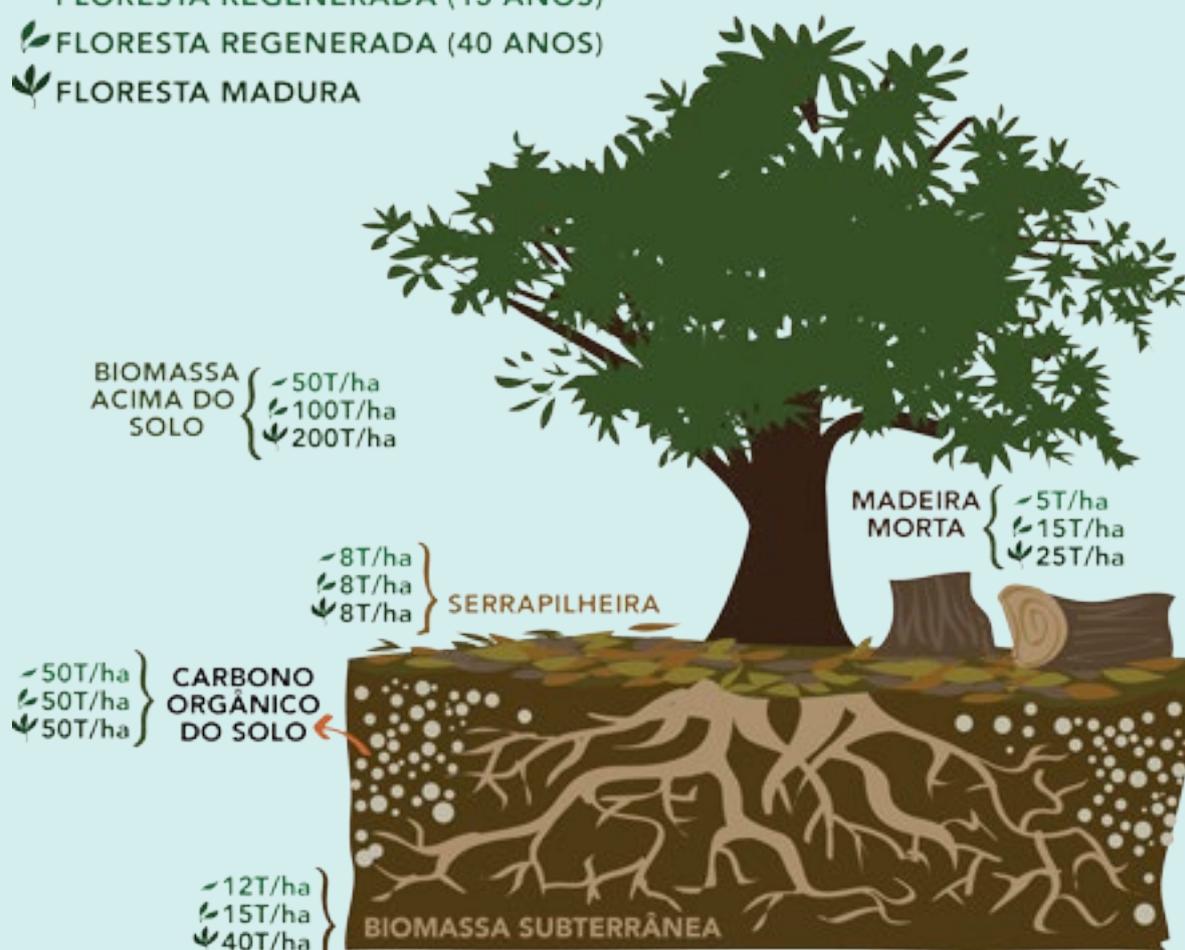
Uma relação forte entre biomassa e biodiversidade não é necessariamente esperada em outros métodos de restauração, já que o estoque de carbono pode ser alcançado independentemente da diversidade de espécies plantadas.

BOX 2:

SEQUESTRO DE CARBONO NA RESTAURAÇÃO

A biomassa viva acima do solo, especialmente árvores, palmeiras e arbustos, é o componente que mais armazena carbono durante a restauração das florestas, enquanto o solo, madeira morta, serrapilheira e lianas apresentam menor variação.²⁴ Em florestas em início de restauração, o carbono do solo contribui com pelo menos a metade do estoque total, pois a biomassa acima do solo ainda é baixa e o solo já incorporou carbono (ou não perdeu, dependendo do tipo de degradação)²⁵. O carbono do solo estabiliza rapidamente (cerca de 40 anos), enquanto a biomassa aérea aumenta até os 120 anos.²⁶

- ✓ FLORESTA REGENERADA (15 ANOS)
- ✓ FLORESTA REGENERADA (40 ANOS)
- ✓ FLORESTA MADURA

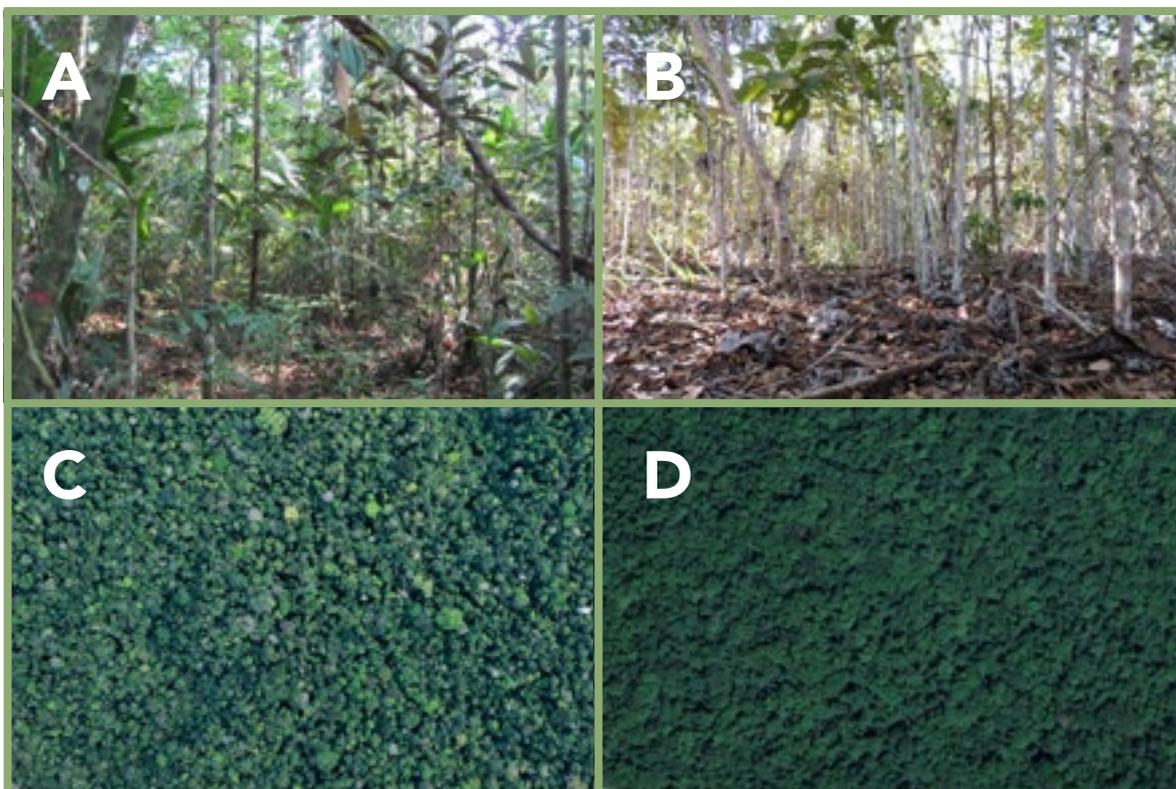


Representação dos componentes da floresta e suas contribuições para o estoque de carbono total. Os valores (em verde) são a massa de carbono em cada componente em três idades de florestas (toneladas de carbono por hectare). Os valores são aproximações médias feitas a partir da literatura^{27,28}. Há grande variação entre regiões, tipos de degradação e restauração e fitofisionomias.

indicador 5:

HETEROGENEIDADE ESTRUTURAL

É uma medida que indica a complexificação da floresta. À medida em que a floresta se desenvolve, algumas árvores crescem muito, outras morrem e abrem clareiras, permitindo o recrutamento de plântulas. Esses processos resultam na estratificação da vegetação, com a formação de camadas de copas em diferentes alturas, que é indicada pela heterogeneidade vertical, ou pela formação de clareiras e manchas de árvores grandes, que geram heterogeneidade horizontal. É importante medir porque quanto maior a heterogeneidade estrutural, maior tende a ser a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos.^{29, 30} A heterogeneidade estrutural indica o estágio sucessional, a regeneração abaixo do dossel e a diversidade da floresta.^{31,32} Por exemplo, plantios homogêneos alcançarão elevada biomassa com baixa heterogeneidade estrutural, pois todas as árvores têm o mesmo tamanho.



Representação da heterogeneidade vertical (A e B) e horizontal (C e D). Interior de floresta em (A) regeneração avançada com distribuição de tamanhos de árvores mais heterogênea, e (B) regeneração inicial evidenciando tamanhos de árvores mais homogêneas, em Porto Velho/ Rondônia (Fotos: Daniel Vieira). Imagem de satélite de floresta em (C) regeneração avançada evidenciando árvores emergentes e clareiras e (D) regeneração inicial com dossel homogêneo, no Amazonas. (Imagens: Google Earth).



indicador 6:

BIODIVERSIDADE

Indica o conjunto de seres vivos e as relações ecológicas que compõe a comunidade biológica. É importante medir porque a biodiversidade confere resiliência a áreas em restauração frente a invasões biológicas, alterações climáticas e outras perturbações no futuro. A biodiversidade é considerada um serviço ecossistêmico à humanidade, por garantir polinização, controle biológico de pragas, recursos madeireiros e não-madeireiros, entre outros benefícios.³³ Como a medida da biodiversidade total em uma floresta é complexa e depende de muitos profissionais, a densidade e a riqueza de árvores têm sido o principal indicador de biodiversidade adotado na restauração ecológica. É esperado que a maior diversidade de árvores abrigue maior diversidade de animais, fungos e bactérias, pois cada espécie ocupa funções diferentes no ecossistema e formam habitat para as demais formas de vida.³⁴

indicador 7: REGENERANTES NATIVOS (OU ÁRVORES NATIVAS)

É uma medida da densidade de indivíduos por área (indicador 7A) e do número de espécies nativas ou riqueza (indicador 7B). Indica a dinâmica de recrutamento e o aumento da diversidade ao longo da restauração, além de indiretamente indicar a presença de fauna dispersora (para o caso de espécies dispersas por animais). A avaliação de regenerantes é importante porque indica o funcionamento de processos ecológicos essenciais, como a dispersão de sementes e as condições do sítio para a germinação e o desenvolvimento das plântulas. Os regenerantes também são indicadores de futuro pois indicam como poderá ser a estrutura e a diversidade da floresta no futuro. Em áreas onde houve restauração florestal ativa, deve-se considerar todas as **Árvores Nativas** (de 0,3 a 2 metros) no monitoramento, incluindo as espontâneas (regenerantes) e as plantadas por mudas ou sementes.



Monitoramento de regenerantes florestais.



2.2. MONITORAMENTO SOCIOECONÔMICO

A Aliança entende que com políticas públicas e incentivos adequados, a restauração florestal representa uma oportunidade ímpar para promover o desenvolvimento socioambiental na Amazônia. Para orientar os planejadores de políticas, gestores e legisladores na definição de indicadores sociais e econômicos existem propostas de indicadores e índices para monitorar o impacto da restauração. Globalmente, a ONU propõe a utilização dos indicadores dos ODS para o monitoramento da Década.³⁵ Nacionalmente, o conjunto de ODS, suas metas e indicadores a serem alcançados até 2030, também devem ser considerados para avaliar políticas e programas.³⁶ Complementarmente, a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) propõe um índice para medida de Bem-Estar que inclui 11 elementos (Moradia, Renda, Empregos, Comunidade, Educação, Meio ambiente, Engajamento cívico, Saúde, Satisfação pessoal, Segurança, Vida/Trabalho), e um conjunto de indicadores que informam sobre o bem-estar atual e os riscos futuros.³⁷

Na Amazônia, o Índice de Progresso Social (IPS) foi adaptado com indicadores de relevância local e pode ser usado para medir bem-estar e oportunidades, independente da dimensão econômica.³⁸ No Brasil, existem indicadores socioeconômicos disponíveis em bases de dados secundárias em escala regional, municipal e censitária que podem ser usados na avaliação de programas de restauração. Mas, além de avaliar o impacto da restauração na escala regional, é importante monitorar na escala local.

Ainda que algumas iniciativas de restauração privadas não tenham como objetivo direto a promoção de desenvolvimento socioeconômico local, elas podem adotar um conjunto de padrões de boas práticas ambientais, sociais e de governança (ESG; do acrônimo em inglês), e monitorá-las para prevenir ameaças e conflitos com as comunidades locais. Investidores, gestores, legisladores e a sociedade civil devem poder acompanhar os impactos sociais e econômicos de diferentes projetos de restauração, inclusive para promover uma melhoria contínua de estratégias. Para tanto, é necessário avaliar em diferentes momentos quem se beneficia com a restauração e como os esforços de restauração estão afetando o bem-estar e a cidadania de comunidades locais. Deve-se considerar não apenas as pessoas envolvidas diretamente com as áreas em restauração, mas também aqueles que trabalham em toda a cadeia produtiva de serviços e insumos para restauração, prevenção e controle de queimadas e monitoramento.

A condição socioeconômica das pessoas envolvidas em um programa de restauração pode ser avaliada e comparada a um grupo controle ou a índices socioeconômicos na mesma região, utilizando por exemplo, dados do IBGE. Idealmente, devem ser complementados por dados obtidos localmente, via entrevistas estruturadas ou semiestruturadas com grupos-focais, Diagnóstico Rural Participativo, mapas falados, entre outras metodologias. Indicadores socioeconômicos medidos localmente (Tabela 1) devem ser usados com cuidado para comparar projetos diferentes, pois cada um parte de uma realidade distinta, sob forças econômicas e com histórias socioculturais diferentes. Idealmente, deve-se iniciar o monitoramento no começo do projeto, para traçar a linha de base, no meio e ao final do projeto, para avaliar os impactos da intervenção.

Tabela 1. Exemplos de indicadores socioeconômicos para avaliação de projetos de restauração.

INDICADORES

PARTICIPAÇÃO LOCAL E FORMAÇÃO DE CAPACIDADES:

Investimentos na capacitação da população local com ênfase em jovens e mulheres.

Autonomia de organizações comunitárias envolvidas.

Participação de atores sociais locais no planejamento, monitoramento, avaliação e replanejamento dos projetos.

Porcentagem do recurso investido na região.

Fortalecimento e geração de oportunidades para negócios locais.

IMPACTOS ECONÔMICOS DIRETOS:

Empregos (números de horas/pessoa de trabalho empregadas no projeto, distribuídas por gênero, idade, deficiência e grupo étnico).

Remuneração justa.

Qualidade de emprego (posição, segurança, etc).

CONFLITOS E DISPUTAS:

Proporção da população que teve alguma disputa e/ou que acessou um mecanismo formal ou informal de resolução de disputas.

Regularização e segurança fundiária.

IGUALDADE SOCIAL:

Soberania alimentar, de energia e de renda.

Proporção de homens, mulheres e crianças de todas as idades, na região do projeto, vivendo na pobreza e abaixo da linha da pobreza em todas as dimensões de acordo com as definições nacionais.

BENEFÍCIOS DIRETOS:

Percepção na melhoria da qualidade de vida em relação ao projeto de restauração.

Grau de satisfação.

Renda gerada para os proprietários ou comunidade por conta da atividade de restauração.

Alimentos produzidos em áreas em restauração.

NOTA DE PRECAUÇÃO:

A coleta de dados socioeconômicos em áreas protegidas (Unidades de Conservação e Terras Indígenas) e com populações indígenas e tradicionais requer autorizações prévias dessas pessoas e dos órgãos competentes (como ICMBio, Funai, Comitês de ética), assim como a assinatura de Termos de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE).



3. MONITORAMENTO NOS PROGRAMAS DE REGULARIZAÇÃO AMBIENTAL ESTADUAIS

No Brasil, o estado de São Paulo foi pioneiro na adoção de indicadores quantitativos para o monitoramento da restauração através da Resolução SMA nº 32/2014³⁹. A grande mudança de paradigma da SMA foi o foco nos resultados ecológicos (indicadores de resultados), ao invés de avaliar o projeto no papel ou o plantio, a manutenção e a sobrevivência das mudas (indicadores de manejo). Para tanto foi elaborada a Portaria CBRN nº 01/2015⁴⁰, que estabelece o 'Protocolo de Monitoramento de Projetos de Restauração Ecológica' apresentando de forma detalhada a metodologia a ser utilizada pelo restaurador e pelo fiscal para aferição dos indicadores ecológicos, incentivando o manejo adaptativo em diversas situações.

Medir os indicadores ecológicos, ao invés das atividades realizadas nos projetos, é mais eficiente para garantir que ecossistemas sejam restaurados, além de permitir verificar os resultados independentemente do método de restauração e prover metas claras a serem atingidas. A exemplo de São Paulo, outros estados atrelaram aos seus PRA a aprovação por resultados e passaram a utilizar a mesma abordagem para monitoramento, criando Protocolos de Monitoramento oficiais para seus estados e realizando capacitações para a formação de técnicos na sua aplicação.

Entre os estados da Amazônia, Mato Grosso, Pará e Tocantins definiram indicadores e parâmetros de monitoramento da restauração para atestar os níveis de adequação, no entanto apenas o Mato Grosso os regulamentou (Decreto nº 1491/2018). Acre, Amazonas e Rondônia estão elaborando os seus, com apoio da Cooperação Alemã (GIZ). Por sua vez, instituições de Pesquisa, OSC e empresas privadas que desenvolvem projetos de restauração na Amazônia utilizam diretrizes próprias para monitorar a restauração em seus projetos de acordo com seus objetivos específicos e com base em exigências dos financiadores ou órgãos ambientais.

Mato Grosso e Tocantins têm indicadores e parâmetros de referência diferentes para formações florestais, savânicas e campestres. Mato Grosso também diferencia pequenas e grandes propriedades quanto a algumas exigências. Os valores de referência diferem entre as fases de restauração

e a adequação será concluída quando os indicadores atingirem os valores esperados nos prazos sugeridos. Todos esses estados exigem um relatório descritivo, os indicadores do monitoramento (em tabelas ou planilhas), e fotografias georreferenciadas das áreas monitoradas. Não existem instruções e regulamentações específicas para o monitoramento de SAFs na região (BOX 3). No Pará, o monitoramento de APP deve ocorrer aos 4, 7 e 9 anos; enquanto o monitoramento de RL deve ocorrer nos anos 4, 7, 13, 19 e 20. No Tocantins, o monitoramento de APP e RL deve ter frequência anual nos primeiros 5 anos e bianual nos anos posteriores até o prazo de 11 anos. No Mato Grosso, a frequência de monitoramento é bianual.



Em Mato Grosso, o cumprimento da LPVN está sendo experimentalmente verificado pela cobertura da vegetação nativa a partir de imagens de satélite Planet (resolução espacial de 3-5 metros). A recomposição da vegetação nativa é avaliada pela transição de uso antrópico para vegetação nativa secundária. O índice de atividade fotossintética (NDVI) é calculado para cada píxel do polígono, estimando a biomassa florestal. O sistema emite relatórios trimestrais, permitindo a verificação ao longo do tempo.

INDICADORES ADOTADOS PARA O MONITORAMENTO DA RESTAURAÇÃO E VALORES PARA AFERIMENTO DA ADEQUAÇÃO NO ÂMBITO DOS PRAs NOS ESTADOS PARÁ, MATO GROSSO E TOCANTINS.

MATO GROSSO

FORMAÇÃO VEGETAL	INDICADORES	MÉTRICA	VALORES DE REFERÊNCIA (para aferir adequação)
Florestal	Cobertura por vegetação nativa: estratos arbustivo e arbóreo	% da área	> 80%
	Riqueza de regenerantes nativos	nº de espécies	20 espécies (projetos <5/ha) e 30 espécies (projetos >5/ha)
	Densidade de regenerantes nativos (estratos arbustivo e arbóreo)	indivíduos/hectare	3000 indivíduos
Savânica	Cobertura por vegetação nativa	% da área	>70% (>30% de herbácea e >30% de lenhosa)
	Solo exposto	% da área	< 30%
	Riqueza de regenerantes nativos	nº de espécies	20 espécies lenhosas e 10 espécies herbáceas
Campestre	Cobertura por vegetação nativa	% da área	>70% (>50% capins nativos)
	Solo exposto	% da área	< 30%
	Riqueza de regenerantes nativos	nº de espécies	10 morfotipos ou espécies herbáceas
Todas	Cobertura por espécies exóticas ¹	% da área	< 20%

Fonte: Decreto estadual N° 1.491/2018.

O monitoramento da restauração é responsabilidade dos proprietários rurais e cabe às Oemas a fiscalização. Para autuar os Termos de Compromisso (TC) que não estejam sendo cumpridos adequadamente, as Oemas devem ir a campo e utilizar o mesmo monitoramento exigido aos proprietários rurais. Como não há recursos humanos e financeiros para a auditoria de todos os TCs no âmbito do PRA, as Oemas podem fazer uma verificação prévia das áreas por análise de imagens de satélite e selecionar áreas para checagem de campo. A conclusão do projeto de restauração acontece quando um conjunto de indicadores alcançam valores considerados adequados, estando garantida a recomposição da vegetação nativa, independente de novas manutenções.

PARÁ

FORMAÇÃO VEGETAL	INDICADORES	MÉTRICA	VALORES DE REFERÊNCIA (para aferir adequação)
Florestal	Perturbações (fogo, gado, herbívoros, erosão)	% da área	< 5%
	Cobertura de copa	% fechamento dossel	> 80%
	Número de morfoespécies arbustivo-arbóreas	nº de espécies	> 50
	Espécies lenhosas exóticas invasoras	presença/ausência	ausência

Fonte: SEMAS, 2014. Manual Técnico Operativo de Restauração Florestal do Pará.⁴¹

TOCANTINS

FORMAÇÃO VEGETAL	INDICADORES	MÉTRICA	VALORES DE REFERÊNCIA (para aferir adequação)
Florestal	Densidade de indivíduos arbóreos e arbustivos	indivíduos /hectare	> 2000
	Diversidade de indivíduos arbóreos e arbustivos	nº de espécies	> 35
	Sombreamento pela copa de indivíduos arbóreos e arbustivos	% da área	> 80%
Savânica	Densidade de indivíduos arbóreos e arbustivos	indivíduos /hectare	> 1500
	Diversidade de indivíduos arbóreos e arbustivos	nº de espécies	> 35
	Sombreamento pela copa de indivíduos arbóreos e arbustivos	% da área	> 40%
Todas (inclui Campestre)	Ocupação por gramíneas exóticas ou solo exposto	% da área	< 20%
	Cobertura do solo por vegetação nativa	% da área	> 80%

Fonte: Naturantins, 2019. Manual de Restauração da Vegetação Nativa do Estado do Tocantins.

Futuramente, pode-se esperar um aperfeiçoamento no monitoramento por sensoriamento remoto realizado pelas Oemas, redefinindo responsabilidades dos proprietários em monitorar em campo.



BOX 3:

SISTEMAS AGROFLORESTAIS NO PRA

Os sistemas agroflorestais (SAFs) são amplamente disseminados na Amazônia. A Aliança identificou 1.643 iniciativas de SAFs na região, especialmente de pequena escala.⁴² A LPVN autoriza o uso de SAFs na restauração de RL, com limite de até 50% de espécies exóticas, e em APP.* No entanto, não fornece diretrizes metodológicas e de monitoramento para o cumprimento das obrigações legais. A incerteza jurídica faz com que muitos agricultores e técnicos resistam em adotar os SAFs para a restauração, com receio que as Oemas tenham dificuldade na tramitação de solicitações. Poucos estados brasileiros têm parâmetros de referência adequados para monitorar SAFs no âmbito do PRA. Alguns requerem indicadores e/ou valores de referência diferenciados (São Paulo⁴³, Minas Gerais e Rio de Janeiro⁴⁴), enquanto outros determinam que no âmbito do PRA os SAFs devam ser monitorados com os mesmos indicadores e valores de referência que outros métodos de restauração (Distrito Federal e Tocantins). De fato, muitos SAFs sucessoriais atingem valores de referência exigidos para outros métodos de restauração, mas isso dependerá do desenho dos sistemas, técnicas e práticas de manejo adotados. Considerando a importância dos SAFs para a restauração e segurança alimentar dos agricultores na Amazônia, mecanismos legais e instrumentos econômicos para promovê-los devem ser estabelecidos em todos os estados.

* O uso de SAF em APP também é disciplinado pela Resolução Conama nº 369/2006.

3.1. RECOMENDAÇÕES PARA O MONITORAMENTO NOS PRAs NA AMAZÔNIA

A regulamentação e a padronização de instrumentos para um sistema de monitoramento da restauração no âmbito do PRA (Tabela 2) é importante a partir de uma perspectiva ecológica, socioeconômica e legal. Os estados amazônicos devem definir os indicadores, estabelecer protocolos de amostragem e a frequência do monitoramento. Para isso recomendamos as diretrizes abaixo, cientes de que novos paradigmas metodológicos, legais e sociais podem emergir nos próximos anos:

- Elaborar protocolos de monitoramento que sejam simples, com indicadores acessíveis (fácil obtenção a baixo custo) e sensíveis ao tempo - focados no resultado e que podem ser aplicados independente da técnica de restauração e do tamanho de área;
- Definir valores de referência de sucesso para cada indicador, para cada fitofisionomia, assim como para cada momento do projeto até sua entrega;

- Implementar ações de monitoramento, preferencialmente, em intervalos de pelo menos dois anos;
- Pequenas e grandes propriedades podem ter exigências diferenciadas; e
- As Oemas devem validar a medição de campo com medidas remotas e criar uma dinâmica de vistorias por amostragem.

Tabela 2. Recomendação de instrumentos para um sistema de monitoramento da restauração no âmbito da quitação do PRA nos estados amazônicos.

INSTRUMENTOS	JUSTIFICATIVA
Base de dados geoespaciais	Criar um banco de dados aumenta a efetividade da análise e a comparabilidade. O projeto técnico passa a ser apenas uma referência e o foco da fiscalização estará no resultado ecológico atingido, avaliado mediante o monitoramento por sensoriamento remoto comparado aos dados de campo.
Critérios para a análise de elegibilidade da área	Estabelecer critérios e linhas de base que justifiquem a escolha e a elegibilidade das áreas propostas para restauração, visando garantir transparência ao processo e buscando criar conexões entre áreas remanescentes de vegetação nativa.
Diretrizes para projetos	Definir legalmente as técnicas de restauração autorizadas e elaborar um manual metodológico. A escolha e justificativa do método de cada projeto é responsabilidade do proponente, devendo ser embasada no diagnóstico ambiental.
Protocolos de monitoramento	Definir legalmente os indicadores, métricas e períodos do monitoramento da restauração, devendo elaborar um protocolo que garanta a padronização dos métodos. Os indicadores podem variar conforme os objetivos, as fitofisionomias e a fase do projeto.
Relatórios de monitoramento	Padronizar relatórios de monitoramento, incluindo um sistema digital para recebimento de dados e fotos facilita e dinamiza o processo de análise.
Termo de quitação	Atestar o atendimento aos valores finais de resultado ecológico, aprovar a área como recomposta e a entrega do projeto como concluído.

Um aspecto relevante para a definição de indicadores e métodos de amostragem deve ser o custo do processo, já que protocolos complexos e onerosos provavelmente não terão adesão dos proprietários rurais e nem poderão ser fiscalizados com facilidade pelas Oemas. Outro ponto importante é ter indicadores alcançáveis, para que o proprietário rural vislumbre a quitação do TC em prazos menores que 20 anos. Para isso recomenda-se um conjunto de indicadores que são validados cientificamente, considerando o menor tempo possível para quitação e de amostragem simples. Os valores de referência de cada indicador devem ser calibrados para cada fitofisionomia. Os indicadores resultantes do monitoramento periódico da área em restauração devem ser comparados com valores de referência, podendo ser considerados adequados ou não para cada fase.

Existem diversas formas para medir em campo os indicadores de restauração, entre elas as metodologias com parcelas (quadradas, circulares ou retangulares) ou transectos, podendo ser permanentes ou temporários (BOX 4). Algumas variáveis podem ser medidas remotamente através da coleta de dados via satélite, avião ou drones, empregando diferentes sensores (ópticos, Radar ou Lidar) na área toda ou em parcelas amostrais. O tamanho da área amostral varia em função da área total, da idade da restauração e da heterogeneidade do projeto.

Vários estados usam a amostragem sugerida no protocolo de monitoramento do Pacto pela Restauração da Mata Atlântica⁴⁵, que recomenda a instalação de parcelas de dimensões padronizadas (100m²) e uma intensidade amostral proporcional à área total do projeto (Projetos até 1 hectare = 5 parcelas, Projetos > 1 hectare = 5 parcelas mais uma parcela adicional para cada hectare até no máximo 50 parcelas totais – ou seja 1% da área). Um estudo recente mostrou que a área amostral ótima para o monitoramento da restauração varia entre 0,24 e 4,6% do tamanho da área total, dependendo da idade, do estado de degradação e outros fatores.⁴⁶ A instalação das parcelas no campo deve considerar a heterogeneidade da vegetação restaurada na área do projeto e subdividir o polígono de restauração quando houver áreas discrepantes. É importante medir as áreas de maior e de menor sucesso de forma proporcional à área que ocupam evitando tendenciar a amostragem.

PROPOSTA DE INDICADORES PARA O MONITORAMENTO DA RESTAURAÇÃO NO BIOMA AMAZÔNIA: INDICADORES DESEJÁVEIS E MÍNIMOS NECESSÁRIOS

FITOFISIONOMIAS



FORMAÇÕES FLORESTAIS (RESTINGAS, FLORESTAS DE TERRA FIRME E ALAGÁVEIS, CAMPINARANAS)

FASE 1 (0 A 5 ANOS)

- Cobertura por vegetação nativa (%)
- Densidade de árvores nativas (ind./ha)
- Número de espécies nativas (n° spp)
- Cobertura de dossel (%)



FORMAÇÕES SAVÂNICAS (SAVANAS E CERRADOS AMAZÔNICOS, CAMPINAS)

- Cobertura por vegetação nativa (%)
- Número de espécies nativas (n° spp)



MANGUEZAIS

- Cobertura por vegetação nativa (%)
- Densidade de árvores nativas (ind./ha)



SAF

- Cobertura por vegetação nativa (%)
- Número de espécies nativas (n° spp)



FASE 2 (5 A 10 ANOS)

- Biomassa
- Número de espécies nativas (n° spp)
- Densidade de árvores nativas (ind./ha)

FASE 3 (>10 ANOS)

- Biomassa
- Número de espécies nativas (n° spp)

- Cobertura por vegetação nativa (%)
- Número de espécies nativas (no spp)

- Cobertura por vegetação nativa (%)
- Número de espécies nativas (no spp)

- Cobertura por vegetação nativa (%)
- Biomassa

- Cobertura por vegetação nativa (%)
- Biomassa

- Cobertura por vegetação nativa (%)
- Número de espécies nativas (n° spp)
- Biomassa

- Cobertura por vegetação nativa (%)
- Número de espécies nativas (n° spp)
- Biomassa

Cobertura por vegetação nativa (%): inclui espécies espontâneas (regenerantes) e plantadas por sementes ou mudas, quando for o caso.

Densidade de árvores nativas (ind./ha): inclui indivíduos de 0,3 a 2 metros espontâneos (regenerantes) e plantados por sementes ou mudas, quando for o caso.

Número de espécies nativas ou riqueza (n° spp): inclui espécies plantadas e espontâneas. Sempre que possível deve-se identificar as espécies botânicas, quando não for possível deve-se contabilizar as morfoespécies.

Biomassa: A coleta de dados em campo e cálculos alométricos para obtenção dos valores de biomassa é complexa e pode dificultar a adoção do protocolo de monitoramento. Uma opção mais simples para a coleta de dados em campo pode ser a medição de diâmetros de troncos para cálculo da **Área Basal** (m²/hectare), que pode ser usada como um indicador de biomassa. A biomassa pode ser estimada por sensoriamento remoto (ver anexo). Para os projetos que visem a creditação de Carbono, existem metodologias específicas que devem ser utilizadas.



4. ANEXOS

indicador 1:

COBERTURA DE VEGETAÇÃO NATIVA

A cobertura da vegetação nativa pode ser medida em campo e através de sensoriamento remoto. Como a cobertura vegetal se reduz durante as secas e aumenta na estação mais chuvosa, o monitoramento de cobertura vegetal nativa deve ser feito sempre na mesma época do ano, até que seja atingida a porcentagem de cobertura desejada. Em SAFs a medição remota deve comprovar que a cobertura de espécies exóticas não ultrapasse 50%, como previsto na LPVN.

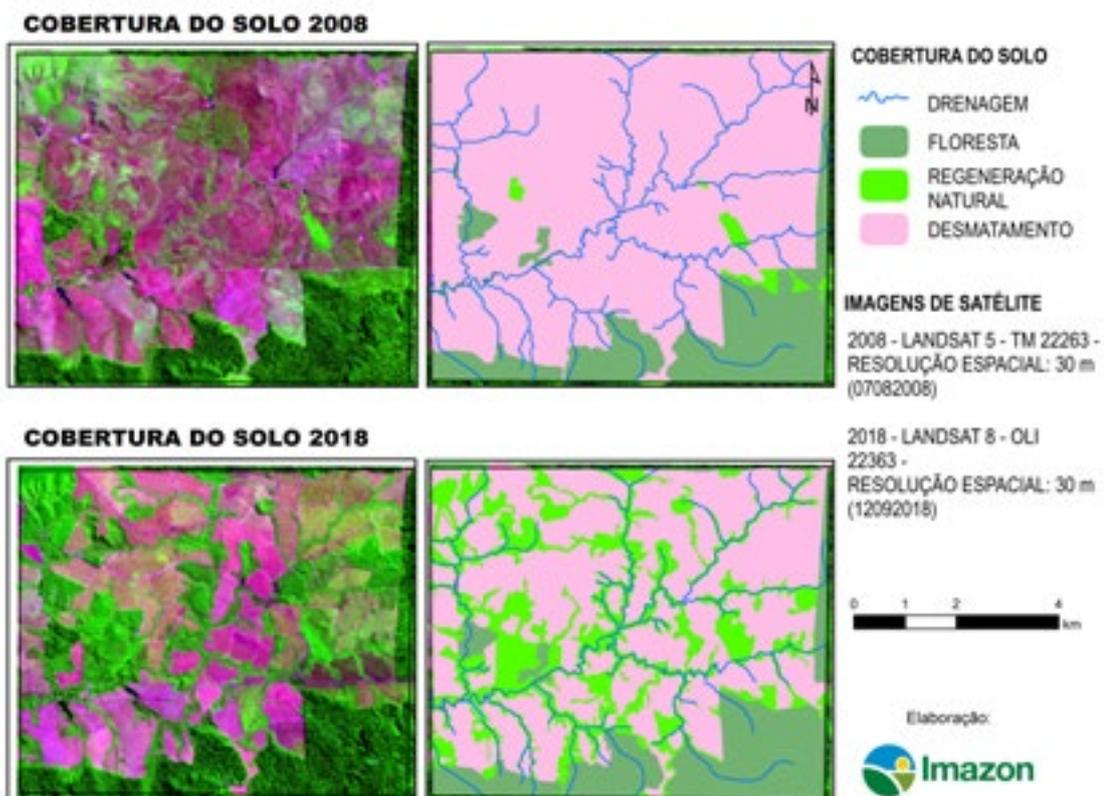


- **CAMPO**

Basta conhecer os tipos de vegetação. Com um simples treinamento é possível distinguir entre classes de sucessão, tipos de florestas (ex. plantadas, manejadas, SAF), e outras coberturas vegetais nativas. Pode-se medir a porcentagem (%) de vegetação nativa em parcelas de tamanho conhecido ou utilizar o método de transectos por meio da interceptação em linha ou em pontos (veja BOX 4) .

• SENSORIAMENTO REMOTO

O uso do sensoriamento remoto permite a identificação da cobertura da vegetação em diferentes escalas, resoluções e custos, da propriedade rural até o nível nacional e global, através da classificação de imagens de satélite. A análise dessas imagens permite identificar a presença e o tipo de vegetação nativa (por exemplo campo ou floresta) e o estágio sucessional de áreas em restauração (em anos). Durante a validação do CAR, para checar se há divergências nas áreas informadas pelo cadastrante como remanescentes de Vegetação Nativa, os técnicos dos Oemas deverão conferir no banco de imagens de satélite disponível para o estado e observar a dinâmica temporal das imagens de satélite, a fim de identificar possíveis desmatamentos ocorridos após 22 de julho de 2008 e áreas de pousio. O Projeto MapBiomass (<http://mapbiomas.org>) disponibiliza gratuitamente mapas de regeneração de florestas a partir da análise das transições entre as classes de uso antrópico (sem vegetação nativa) e a classe de vegetação nativa, incluindo a idade da regeneração, utilizando imagens de satélite Landsat.



Exemplo de uso de imagem de satélite Landsat para mapeamento da cobertura do solo e monitoramento da regeneração natural entre 2008 e 2018 em Ulianópolis/PA.

BOX 4: PRINCIPAIS MÉTODOS DE AMOSTRAGEM EM CAMPO

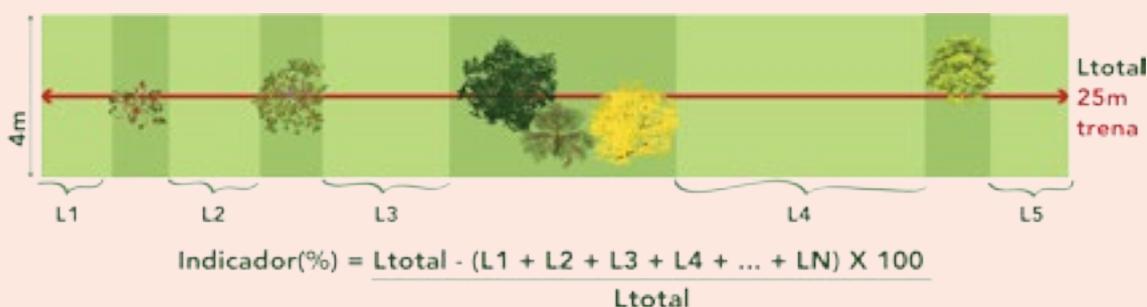
• **Parcela** é uma unidade amostral de tamanho conhecido, podendo ser retangular, quadrada ou redonda. Dentro das parcelas podem-se alocar sub-parcelas menores e transectos.



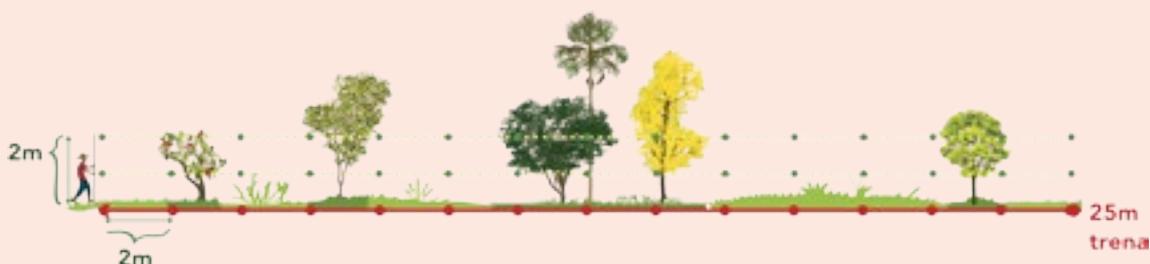
• **Transecto** é uma linha amostral de tamanho conhecido onde são registrados e contabilizados indicadores interceptados na linha (secção) ou em pontos.



• **Método da Interceptação em linha:** O indicador (cobertura do dossel, vegetação nativa, espécies indesejáveis, solo exposto, etc) é obtido pela soma dos trechos da linha amostral cobertos por ele, em metros, dividida pelo comprimento total da linha (por ex. 25m).



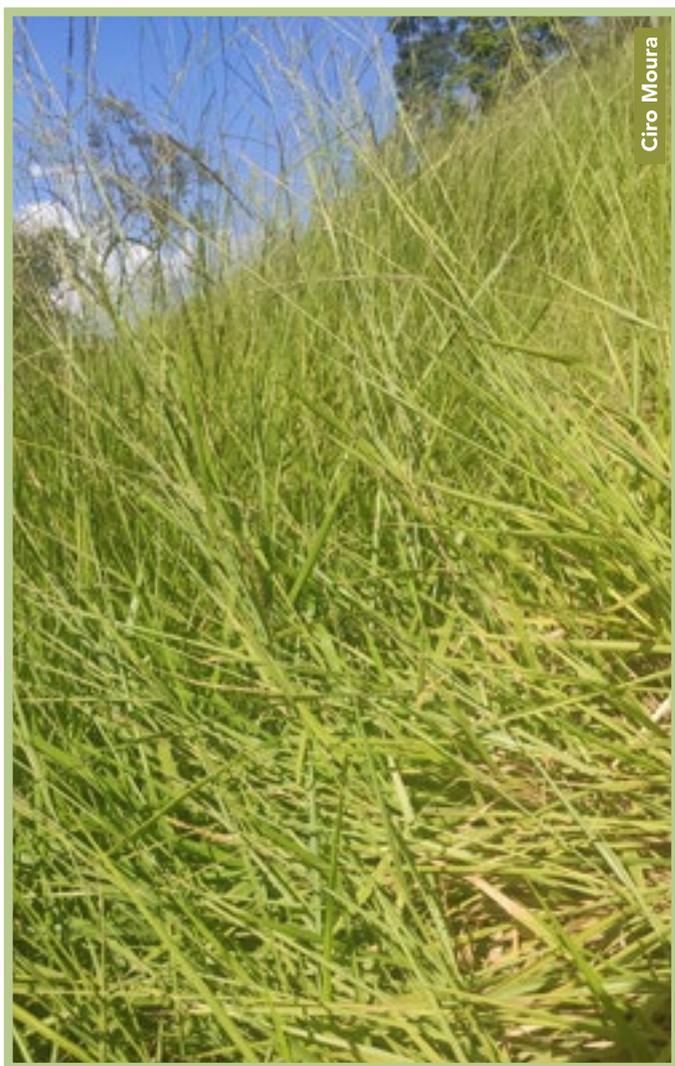
• **Interceptação de pontos em linha:** O indicador (cobertura do dossel, vegetação nativa, espécies indesejáveis, etc) é obtido em pontos que interceptam o transecto em intervalos específicos (1 ou 2m). Em cada ponto deve-se posicionar perpendicularmente ao solo uma vareta de 2m e anotar o tipo de cobertura que a toca (<1m e entre 1-2m), e se há projeção de copa (> 2m). O indicador é obtido pela soma dos pontos cobertos por ele, dividida pelo total de pontos na linha.



indicador 2:

COBERTURA DO SOLO POR PLANTAS INDESEJÁVEIS

A cobertura do solo por plantas indesejadas pode ser medida em campo, através de drones e até por sensoriamento remoto dependendo da escala. Esse indicador deve ser medido no início do projeto e até o fechamento do dossel nas florestas, ou substituição pela cobertura por vegetação nativa.



Exemplo de área dominada por braquiária
(*Urochloa decumbens*)

- **CAMPO**

Deve-se conhecer os tipos de plantas indesejadas, como os capins exóticos e medir a porcentagem (%) de solo coberto por elas em parcelas de tamanho conhecido ou através de transectos por meio da interceptação em linha ou em pontos (veja BOX 4).

indicador 3:

COBERTURA DO DOSSEL

Pode-se medir a cobertura do dossel de toda vegetação ou pode-se diferenciar entre a cobertura por espécies nativas e exóticas, dependendo do objetivo do monitoramento. A cobertura do dossel pode ser medida em campo e através de sensoriamento remoto (Tabela 3). É um indicador para as fases iniciais da restauração florestal (geralmente até cinco anos) e deve ser realizada até que o dossel se feche ou que se atinja a meta estabelecida.

Tabela 3. Ferramentas para monitorar a cobertura de dossel na restauração florestal na Amazônia.

Ferramenta	O que mede	Escala	Resolução	Materiais	Capacidade técnica
Medidas de campo	% de Cobertura do dossel por espécies nativas e exóticas	Projetos e propriedades	(0,1 - 1m)	Trena, vareta, máquina fotográfica ou celular ou densiômetro	Qualquer pessoa com treinamento de uma hora
Satélites de alta resolução	% de Cobertura do dossel (espectral)	Projetos e paisagens	0,5 a 3m	Imagens pagas, computadores e softwares específicos	Especialistas em geoprocessamento
Drones com RGB ou Infra-Vermelho próximo ou Lidar	Cobertura do dossel (espectral e modelo de altura)	Projetos e propriedades	<10cm	Drone, campo, computadores e software específicos	Pilotos e especialistas em geoprocessamento

- **CAMPO**

A cobertura de dossel pode ser medida através do método de transectos por meio da interceptação em linha ou em pontos amostrais. Ou através do uso de um **densiômetro esférico** ou de fotografias hemisféricas.^{47, 48}

O número de pontos e o comprimento dos transectos dependerá da área total em restauração e sua heterogeneidade. Pode-se medir separadamente a cobertura de copas de árvores exóticas e nativas e também compartimentar as medições por altura ou diâmetro do tronco das árvores.

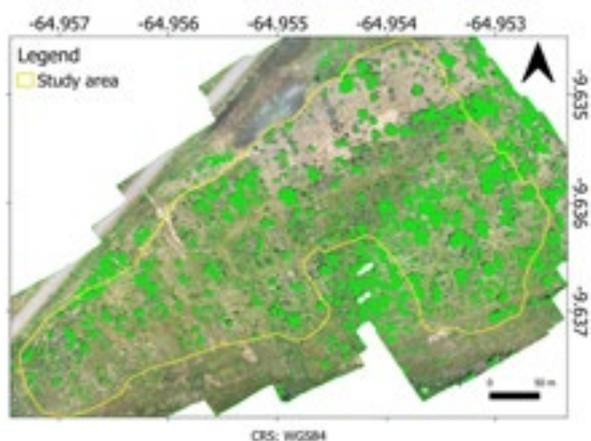
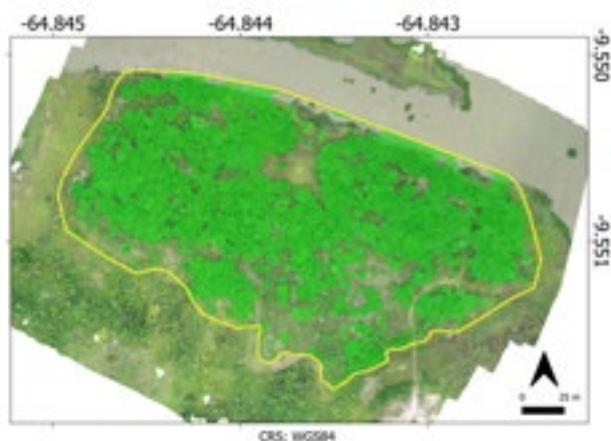
Densiômetro:
Equipamento composto por um espelho côncavo com o seu centro dividido em 24 quadrantes que reflete a luz incidente em 180°, usado para estimar a cobertura de copa por contagem.



Guillaume Rouseau

• SENSORIAMENTO REMOTO

As imagens de satélite e de drones são utilizadas para estimar a cobertura do dossel. A classificação a partir de modelos de altura de dossel retoma a altura de cada pixel.⁴⁹ Assim, pode-se assumir, por exemplo, que a partir de 2m de altura, o pixel é da classe dossel. Há experiência de uso de imagens de satélite SPOT e Pléiades de alta resolução (0,5 a 1,5 m) para verificar a porcentagem de cobertura de dossel arbóreo em milhares de polígonos de restauração, com classificação supervisionada de imagens. Tem sido utilizado o critério de 70% de cobertura de dossel como sucesso da primeira etapa da restauração.⁵⁰



Reconhecimento e quantificação de cobertura do dossel a partir do modelo de altura do dossel (altura do dossel = modelo digital de superfície mapeada - modelo digital de terreno), monitorado através de drone. Imagens e fotos gentilmente cedidas por Rafael Albuquerque (mais detalhes em Albuquerque et al, 2022, <https://doi.org/10.1515/geo-2022-0406>)

indicador 4:

BIOMASSA

A biomassa pode ser estimada em campo e através de sensoriamento remoto (Tabela 4). Pode-se começar a ser medidos no quinto ano após o início da restauração. No entanto, em projetos que visam a geração de créditos de carbono para a comercialização, é necessário ter uma medida anterior ao estabelecimento do projeto como linha de base, para garantir a adicionalidade do projeto.

Tabela 4. Ferramentas e produtos disponíveis para monitoramento de carbono e biomassa na restauração florestal na Amazônia.

Ferramentas	O que mede	Escala	Resolução	Capacidade operacional exigida
Medição em campo	Diâmetro à altura do peito (altura da árvore é opcional)	Projetos e propriedades	-	Treinamento de uma hora
Medição em campo	Diâmetro à altura do peito, altura e identificação de espécies	Projetos e propriedades	-	Técnicos, botânicos ou parobotânicos
Biomass project	Base de dados de biomassa	Programa	1 ha	Especialistas em geoprocessamento
Satélites com imagem de radar	Altura do dossel	Programa, Projeto	<1 ha	Especialistas em geoprocessamento
Lidar (drone ou avião)	Altura do dossel e % de altura	Projetos e propriedades	400 pontos/m ²	Especialistas em geoprocessamento

- **CAMPO:**

Para estimar o estoque de carbono em florestas, o IPCC recomenda estimar a biomassa acima do solo (árvores, arbustos, palmeiras e lianas vivas), madeira morta (caída e em pé), serapilheira, solo (0-20 cm de profundidade) e raízes.⁵¹ Porém, para um monitoramento confiável e simples, a medição da biomassa viva acima do solo é recomendada, pois é mais sensível às mudanças ao longo da restauração.⁵² A vegetação é medida por amostragem, em parcelas de área conhecida, distribuídas proporcionalmente entre as diferentes situações ambientais das áreas de interesse. A biomassa viva acima do solo pode ser estimada a partir de equações baseadas no diâmetro do tronco à altura do peito (DAP, medido a 1,3m a partir do solo), altura das árvores e densidade das suas madeiras. Equações alométricas permitem a estimativa da biomassa mesmo quando não há dados de altura, ou seja, apenas com diâmetro.⁵³ A densidade da madeira de diversas espécies tropicais está disponível em banco de dados de acesso livre (p.ex. DRYAD).⁵⁴ Há manuais para inventário florestal na Amazônia, padronizados e utilizados por grupos de pesquisa (Rede Amazônica de Inventários Florestais; <http://www.rainfor.org/pt>), pelo Inventário Florestal Nacional, do Serviço Florestal Brasileiro.⁵⁵ Há protocolos que atendem a certificações internacionais, requeridos para a creditação e comercialização de carbono. A coleta de dados em campo a partir de uma amostragem é estatisticamente extrapolada para a área toda. O número adequado de parcelas para medição de carbono dependerá da área total em restauração e sua heterogeneidade. Em média, a biomassa das árvores é constituída de 50% de carbono. Portanto, para converter biomassa em carbono deve-se multiplicar por 0,5 (IPCC).

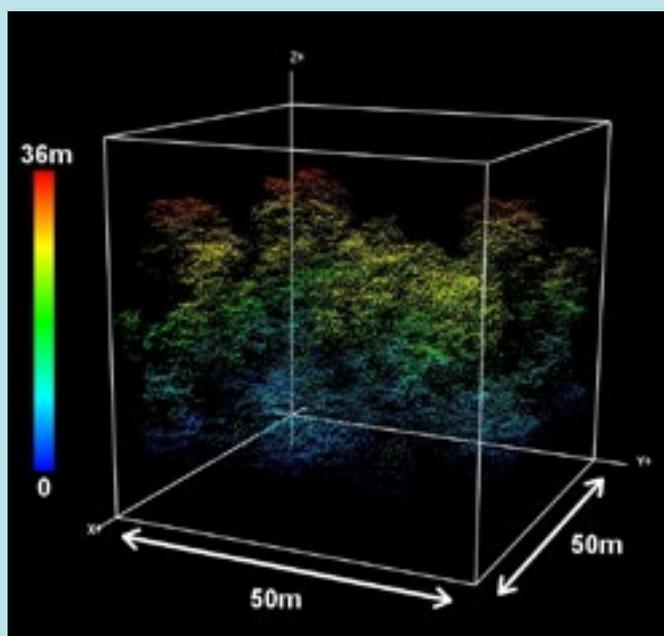
A **Área basal** pode ser uma medida alternativa à biomassa. Ela é obtida a partir da soma das áreas seccionais dos troncos de árvores em uma parcela, e é informada em m² por hectare. Para se obter as áreas dos troncos, são medidos os diâmetros na altura do peito (DAP) das árvores na parcela com fita métrica ou suta.



Flávio Forner | Conservação Internacional

- **SENSORIAMENTO REMOTO:**

Em medições remotas, a estimativa da biomassa se dá a partir da altura do dossel, medida com modelo digital de altura com fotografias de drones, ou com sensores **Lidar** acoplados em drones ou aviões, ou por imagens de satélite. As duas ferramentas geram medidas de altura de dossel com precisão de centímetros.⁵⁶ Os sensores Lidar captam o perfil de ocupação vertical das árvores pela densidade de pulsos interceptados a cada faixa de altura, gerando variáveis de previsão de biomassa^{57,58}, e de heterogeneidade estrutural. Análises de imagens de radar em satélites geram mapas de altura de dossel para todo o globo terrestre, e são utilizadas para estimar a biomassa de áreas em regeneração em larga escala. Há uma rápida evolução tecnológica no uso de satélites para estimativa de biomassa e carbono. O satélite TanDEM-X captura imagens de radar e permite estimar a altura do dossel, com acurácia de 3 metros.³⁴ O projeto Biomass, da Agência Espacial Europeia, disponibiliza gratuitamente mapas globais de carbono para os anos de 1990, 2010, 2017 e 2018, com resolução de 1ha (<https://climate.esa.int/en/projects/biomass/>), o que permite gerar mapas de biomassa e modelos. Com essas ferramentas é possível estimar a biomassa analisando todos os pixels da área em restauração, e não apenas as parcelas da amostra.



Lidar: Aparelho que emite pulsos de laser e mede o tempo de retorno entre o alvo e o sensor. O tempo de retorno é convertido em distância. A densidade de pulsos por área é muito alta, podendo medir uma enorme nuvem de pontos de altura por metro quadrado. Ao lado, um exemplo de nuvens de pontos Lidar no interior da floresta (figura cedida gentilmente por Celso H. Silva Junior)

indicador 5:

HETEROGENEIDADE ESTRUTURAL

A heterogeneidade estrutural pode ser medida em campo e através de sensoriamento remoto (Tabela 5).

Tabela 5. Ferramentas e visão geral para monitoramento da estrutura vertical na restauração florestal para a Amazônia.

Ferramenta	O que mede	Escala	Resolução	Capacidade operacional exigida
Medição em campo	Frequência de altura e diâmetro das árvores	Projetos e propriedades	Pontos ou em Parcelas	Treinamento básico de 1 hora.
Lidar (terrestres, acoplados em drones ou aviões)	Cobertura do dossel (modelo de altura)	Projetos e propriedades	400 pontos/m ²	Pilotos e especialistas em geoprocessamento

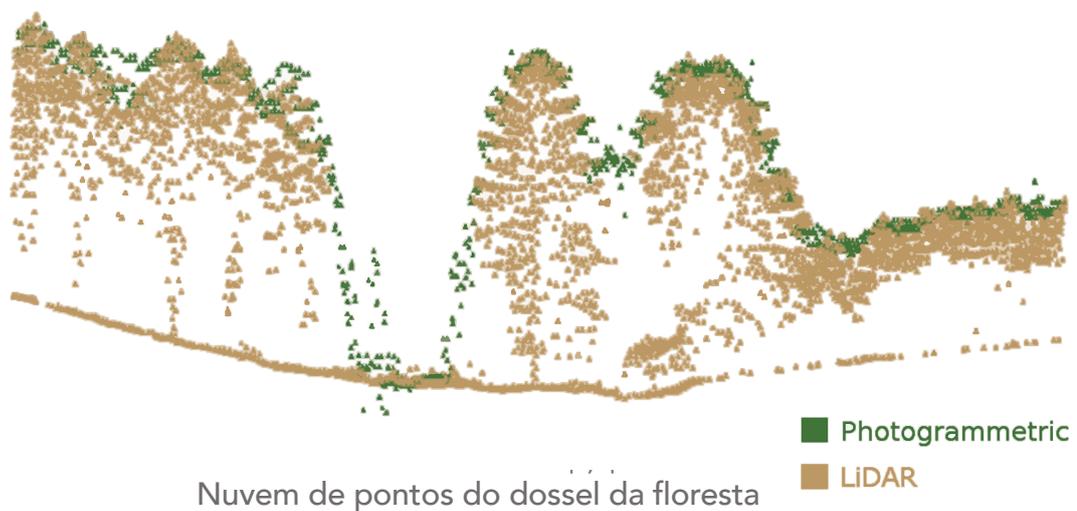
• CAMPO

A heterogeneidade estrutural pode ser estimada pela distribuição de tamanho das árvores (DAP e/ou altura). Uma distribuição heterogênea ou homogênea de tamanhos pode ser verificada com o coeficiente de desigualdade de tamanhos de Gini.^{59,60} Outra forma de medir a heterogeneidade é através do método de interceptação de pontos em linha (BOX 4). Adequado para florestas em fase inicial de regeneração, quando há muitas árvores abaixo do diâmetro ou altura mínimos para inclusão na amostragem, ou quando o foco do monitoramento são vegetações savânicas ou campestres.⁶¹ A heterogeneidade estrutural horizontal reflete, por exemplo, clareiras e árvores emergentes. Em campo, é detectada em parcelas ou em linhas de interceptação,

transectos, onde os segmentos da treina cobertos por cada unidade (clareiras de diferentes estágios e floresta madura) são quantificados.^{62,63} O número e o comprimento de transectos necessários para essa medição dependerá da área total em restauração e sua heterogeneidade.

• SENSORIAMENTO REMOTO

Sensores Lidar terrestres ou embarcados em drones e aviões geram dados de perfis verticais de densidade da vegetação. Fotos RGB em drones também geram dados de heterogeneidade vertical a partir de modelo de altura e satélites de resolução espacial abaixo de 10m também.



Representação de dados de densidade de vegetação gerados por Lidar e de altura de dossel gerados por fotos RGB (fotogrametria). Dados Lidar permitem analisar a heterogeneidade vertical (distribuição de altura de toda a vegetação) e horizontal (média e variações de altura do dossel; tamanho e frequência de clareiras). Fotogrametria permite analisar a heterogeneidade horizontal. Figura original de Lisein et al (2013; <https://doi.org/10.3390/f4040922>) traduzida de acordo com a licença CC BY 3.0.

indicador 6:

BIODIVERSIDADE

A avaliação detalhada da biodiversidade deve ser feita em campo e depende de especialistas botânicos, micólogos, zoólogos, entre outros. Pode ser aferida por estimativa do número de espécies na área em restauração, por índices que considerem a distribuição de abundância das espécies (por exemplo, o índice de Diversidade de Shannon), ou por presença e proporção de espécies com características ecológicas específicas, indicadoras de biodiversidade presente e futura.⁶⁴ Existem protocolos de medição da biodiversidade para diferentes grupos taxonômicos vegetais e animais, como os propostos pelo Programa de Pesquisa em Biodiversidade (PPBio).⁶⁵ Para permitir a avaliação e o monitoramento em áreas grandes e com menor custo, a densidade e a riqueza de espécies de árvores tem sido o principal indicador de biodiversidade adotado na restauração ecológica (veja indicador 7). É esperado que a maior biodiversidade de plantas abrigue maior biodiversidade de animais, fungos e bactérias, pois cada espécie ocupa funções diferentes no ecossistema e formam habitat para as demais formas de vida.⁶⁶ A biodiversidade também pode ser medida para grupos biológicos importantes para a restauração, diretamente relacionados aos serviços ecossistêmicos como por exemplo os polinizadores, a fauna de solo, etc.

- **SENSORIAMENTO REMOTO**

A diversidade espectral de áreas em restauração é um indicador promissor para avaliar a biodiversidade, pois espécies arbóreas têm assinaturas espectrais. A diversidade espectral tem alta correlação com a diversidade funcional das plantas, permitindo gerar indicadores de biodiversidade.⁶⁷ Câmeras multi-espectrais com resolução espacial de um ou poucos centímetros podem ser transportadas em drone. Câmeras multi-espectrais em conjunto com sensores Lidar embarcados em avião geram bons resultados de diversidade espectral com pixel de 2m⁶⁸, mas ainda são metodologias muito custosas. Imagens de câmeras RGB comuns e imagens de satélite com pixel de 0,5 metro têm sido estudadas para identificar espécies de árvores indicadoras da qualidade da regeneração, através da análise de suas copas.^{69, 70}

indicador 7:

REGENERANTES NATIVOS **(OU ÁRVORES NATIVAS)**

Para avaliar a densidade de indivíduos nativos regenerantes por hectare (indicador 7A) deve-se contar todos os indivíduos com altura inferior a 2 metros, dentro da parcela amostral, e este número deve ser convertido para número de indivíduos por hectare (ind./ha). Para avaliar a riqueza de espécies nativas (indicador 7B), é necessário identificar e contar as espécies. Como a identificação de espécies por nome científico exige alta capacitação, a forma mais simples é identificar em campo e listar as espécies ou morfoespécies de árvores (em formações florestais) e outras plantas (em formações savânicas e campestres) em parcelas, transectos ou caminhadas por tempo determinado. O número ideal de parcelas para a medição da diversidade de árvores regenerantes dependerá da área total em restauração. No caso de coleta de dados para riqueza, em cada parcela deve-se contar cada espécie apenas uma vez, mesmo que ela ocorra em várias parcelas. O levantamento das espécies será realizado na forma de uma lista única, e não de uma lista para cada parcela de monitoramento. Assim, cada espécie é contabilizada apenas uma vez. Em áreas onde houve restauração florestal ativa, deve-se considerar as Árvores Nativas (entre 0,3 e 2 metros) no monitoramento, incluindo as espontâneas (regenerantes) e as espécies plantadas por mudas ou sementes.



Monitoramento de regenerantes em Igarapé-Açu, Pará

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

¹ Viani, R. A. G. et al. 2017. Protocol for monitoring tropical forest restoration: perspectives from the Atlantic Forest Restoration Pact in Brazil. *Trop. Conserv. Sci.* 10, 1940082917697265.

² SER. 2004. The Primer on ecological restoration. Society for Ecological Restoration International. Science and Policy Working Group, Disponível em <www.ser.org>.

³ ITTO e IUCN. 2005. Restoring forest landscapes: An introduction to the art and science of forest landscape restoration. Technical Series No 23, Yokohama: ITTO.

⁴ Chazdon, R.L. 2008. Beyond Deforestation: Restoring Forests and Ecosystem Services on Degraded Lands. *Science* 320, 1458, 1458-1460.

⁵ Griscom, B.W. et al., 2017. Natural climate solutions. *Proc Natl Acad Sci* 114(44):11645-11650.

⁶ Busch J., et al., 2019. Potential for low-cost carbon dioxide removal through tropical reforestation. *Nature Climate Change*, 9(6) 463.

⁷ Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD). Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS): <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>

⁸ IRP. 2019. Land Restoration for Achieving the Sustainable Development Goals: An International Resource Panel Think Piece. Herrick, J.E et al. A think piece of the International Resource Panel. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya, 140p. <https://www.resourcepanel.org/reports/land-restoration-achieving-sustainable-development-goals>

⁹ Gann, G. D., et al.. 2019. International principles and standards for the practice of ecological restoration. *Restoration Ecology* 27:S1-S46 DOI:10.1111/rec.13035

¹⁰ Brasil, 2017. Planaveg: Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa. Ministério do Meio Ambiente.

¹¹ SFB. 2022. Números do Cadastro Ambiental Rural. Boletim Informativo Abril de 2022. Disponível em: <https://www.florestal.gov.br/>

¹² Soares-Filho, B. et al. 2014. Cracking Brazil's Forest Code. *Science* 344(6182). <https://doi.org/10.1126/science.1246663>

¹³ Heinrich, V. H. A. et al. 2021. Large carbon sink potential of secondary forests in the Brazilian Amazon to mitigate climate change. *Nat. Commun.* 12, 1785.

- ¹⁴ Rozendaal, D. et al. 2019. Biodiversity recovery of Neotropical secondary forests. *Sci. Adv.* 5.
- ¹⁵ Poorter, L. et al. 2016. Biomass resilience of Neotropical secondary forests. *Nature* 530, 211–214.
- ¹⁶ Celentano, D. et al. 2022. Forest restoration to promote a fair post COVID-19 recovery in the Brazilian Amazon. *Land Use Policy*, 116: 106076. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106076>
- ¹⁷ Painel Científico para a Amazônia: <https://www.aamazoniaquequeremos.org/>
- ¹⁸ SER. 2019. Princípios e Padrões Internacionais para a Prática da Restauração Ecológica. Segunda Edição: Disponível em: <https://www.sobrestauracao.org/>
- ¹⁹ Gann, G. D. et al. 2019. International principles and standards for the practice of ecological restoration. Second edition. *Restor. Ecol.* 27, S1–S46.
- ²⁰ Poorter, L. et al. 2021. Multidimensional tropical forest recovery. *Science* (80) 374, 1370–1376.
- ²¹ Holl, K. 2020. *Primer of Ecological Restoration* Island Press , 224p.
- ²² Urzedo, D. I., et al. 2020. A global production network for ecosystem services: The emergent governance of landscape restoration in the Brazilian Amazon. *Glob. Environ. Chang.* 61.
- ²³ Ferreira, J. et al. 2018. Carbon-focused conservation may fail to protect the most biodiverse tropical forests. *Nat. Clim. Chang.* 8, 744–749.
- ²⁴ Berenguer, E. et al. 2014. A large-scale field assessment of carbon stocks in human-modified tropical forests. *Glob. Chang. Biol.* 20, 3713–3726.
- ²⁵ Jones, I. L. et al. 2019. Above- and belowground carbon stocks are decoupled in secondary tropical forests and are positively related to forest age and soil nutrients respectively. *Sci. Total Environ.* 697, 133987.
- ²⁶ Zanini, A. M, et al. 2021. The effect of ecological restoration methods on carbon stocks in the Brazilian Atlantic Forest. *For. Ecol. Manage.* 481, 118734.
- ²⁷ Sierra, C. A. et al. 2007. Total carbon stocks in a tropical forest landscape of the Porce region, Colombia. *For. Ecol. Manage.* 243, 299–309.
- ²⁸ Houghton, R. A., et al. 2001. The spatial distribution of forest biomass in the Brazilian Amazon: a comparison of estimates. *Glob. Chang. Biol.* 7, 731–746.
- ²⁹ Almeida, D. R. A. et al. 2019. The effectiveness of lidar remote sensing for monitoring forest cover attributes and landscape restoration. *For. Ecol. Manage.* 438, 34–43.

³⁰ Giudice B, C. et al. 2020. Ecological outcomes of agroforests and restoration 15 years after planting. *Restor. Ecol.*

³¹ Sukanuma, M. S. & Durigan, G. 2015. Indicators of restoration success in riparian tropical forests using multiple reference ecosystems. *Restor. Ecol.* 23, 238–251.

³² Freitas, M. G. et al. 2019. Evaluating the success of direct seeding for tropical forest restoration over ten years. *For. Ecol. Manage.* 438, 224–232.

³³ Mace, G. M., Norris, K. & Fitter, A. H. 2012. Biodiversity and ecosystem services: a multilayered relationship. *Trends Ecol. Evol.* 27, 19–26.

³⁴ Hilderbrand, R. H., Watts, A. C. & Randle, A. M. 2005. The myths of restoration ecology. *Ecol. Soc.* 10.

³⁵ FAO and UNEP. 2022. Global indicators for monitoring ecosystem restoration – A contribution to the UN Decade on Ecosystem Restoration. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb9982en>

³⁶ Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD). Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS): <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>

³⁷ OECD. Measuring Well-being. <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/9789264201392-sum-pt/index.html?itemId=/content/component/9789264201392-sum-pt>

³⁸ Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia. Índice do Progresso Social: <https://ipsamazonia.org.br>

³⁹ Resolução SMA nº 32/2014. Estabelece as orientações, diretrizes e critérios sobre restauração ecológica no Estado de São Paulo, e dá providências correlatas. Disponível em: <https://bit.ly/2ZkoBbl>.

⁴⁰ Portaria CBRN 01/2015. Estabelece o Protocolo de Monitoramento de Projetos de Restauração. Disponível: https://smastr16.blob.core.windows.net/legislacao/2016/12/2015_1_15_Procotolo_monitoramento_restauracao_vfinal.pdf

⁴¹ SEMAS. 2014. Manual Técnico Operativo de Restauração Florestal. Disponível em: <http://sistemas.semas.pa.gov.br/prc/consultaPublica/#/>

⁴² Aliança pela Restauração na Amazônia. 2020. Panorama e Caminhos para a Restauração de Paisagens Florestais na Amazônia. Position paper. Belém: Aliança pela Restauração na Amazônia, 2020. 16p. Disponível em: <https://aliancaamazonia.org.br/>

⁴³ Portaria CFB-7 de 31-5-202. Disponível em: <https://bit.ly/3vK17Z3>

⁴⁴ Resolução INEA 143/2017. Disponível em: <https://bit.ly/3bdTXmB>

⁴⁵ Pacto pela Restauração da Mata Atlântica. 2013. Protocolo de Monitora-

mento para Programas e Projetos de Restauração Florestal: <https://www.pactomataatlantica.org.br/wp-content/uploads/2021/05/protocolo-de-monitoramento-pt.pdf>

⁴⁶ Londe et al. 2022. Estimating optimal sampling area for monitoring tropical forest restoration. *Biological Conservation* 269 : 109532. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2022.109532>

⁴⁷ Coulloudon, B. et al. 1999. Sampling vegetation attributes. BLM Technical Reference vol. 1734.

⁴⁸ Jennings, S. B., Brown, N. D. & Sheil, D. 1999. Assessing forest canopies and understorey illumination: canopy closure, canopy cover and other measures. *For. An Int. J. For. Res.* 72, 59–74.

⁴⁹ Zahawi, R. A. et al. 2015. Using lightweight unmanned aerial vehicles to monitor tropical forest recovery. *Biol. Conserv.* 186, 287–295.

⁵⁰ Balieiro, C., et al. 2019. Uso de Sensoriamento Remoto Para Monitorar Projetos de Restauração de Vegetação Nativa no Brasil. in XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto.

⁵¹ Aalde, H. et al. 2006. Chapter 4 Forest Land. In IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories Vol 4 Agriculture, forestry and other land use (eds. Eggleston, S. et al.) (Institute for Global Environmental Strategies (IGES) Hayama, Japan).

⁵² Berenguer, E. et al. 2014. A large-scale field assessment of carbon stocks in human-modified tropical forests. *Glob. Chang. Biol.* 20, 3713–3726.

⁵³ Chave, J. et al. 2014. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Glob. Chang. Biol.* 20, 3177–3190.

⁵⁴ Zanne, A. E. et al. 2009. Data from: Towards a worldwide wood economics spectrum.

⁵⁵ Serviço Florestal Brasileiro. 2020. Manual de campo: procedimentos para coleta de dados biofísicos e socioambientais.

⁵⁶ de Almeida, D. R. A. et al. 2020. Detecting successional changes in tropical forest structure using GatorEye drone-borne lidar. *Biotropica* 52, 1155–1167.

⁵⁷ Zimbres, B. et al. 2020. Savanna vegetation structure in the Brazilian Cerrado allows for the accurate estimation of aboveground biomass using terrestrial laser scanning. *For. Ecol. Manage.* 458, 117798.

⁵⁸ d'Oliveira, M.V.N. et al. 2020 Aboveground biomass estimation in Amazonian tropical forests: A comparison of aircraft-and gatoreye UAV-borne Lidar data in the Chico Mendes Extractive Reserve in Acre. *Remote Sens.* 12.

⁵⁹ Adhikari, H., et al. 2020. Mapping forest structural heterogeneity of tropical montane forest remnants from airborne laser scanning and Landsat time series. *Ecol. Indic.* 108, 105739.

⁶⁰ Pach, M. & Podlaski, R. 2015. Tree diameter structural diversity in Central European forests with *Abies alba* and *Fagus sylvatica*: managed versus unmanaged forest stands. *Ecol. Res.* 30, 367–384.

⁶¹ Vieira, D. L. M., et al. 2017. Avaliação de indicadores da recomposição da vegetação nativa no Distrito Federal e em Mato Grosso. Relatório.

⁶² Denny, C. K. & Nielsen, S. E. 2017. Spatial Heterogeneity of the Forest Canopy Scales with the Heterogeneity of an Understory Shrub Based on Fractal Analysis. *Forests* 8.

⁶³ Feldmann, E. et al. 2018. Canopy gap dynamics and tree understory release in a virgin beech forest, Slovakian Carpathians. *For. Ecol. Manage.* 415–416, 38–46.

⁶⁴ Brancalion, P. H. S. & Holl, K. D. 2016. Functional composition trajectory: a resolution to the debate between Suganuma, Durigan, and Reid. *Restor. Ecol.* 24, 1–3.

⁶⁵ Programa de Pesquisa em Biodiversidade. Museu Paraense Emílio Goeldi (protocolos) <http://ppbio.museu-goeldi.br/?q=pt-br/protocolos>

⁶⁶ Hilderbrand, R. H., Watts, A. C. & Randle, A. M. 2005. The myths of restoration ecology. *Ecol. Soc.* 10.

⁶⁷ Schweiger, A. K. et al. 2018. Plant spectral diversity integrates functional and phylogenetic components of biodiversity and predicts ecosystem function. *Nat. Ecol. Evol.* 2, 976–982.

⁶⁸ Asner, G. P. et al. 2017. Airborne laser-guided imaging spectroscopy to map forest trait diversity and guide conservation. *Science* (80-.). 355, 385–389.

⁶⁹ Wagner, F. H. et al. 2020. Mapping Atlantic rainforest degradation and regeneration history with indicator species using convolutional network. *PLoS One* 15, e0229448.

⁷⁰ Albuquerque, R. W. et al. 2022. Mapping Key Indicators of Forest Restoration in the Amazon Using a Low-Cost Drone and Artificial Intelligence. *Remote Sens.* 14.



Os Valores que inspiram e sustentam a Aliança pela Restauração na Amazônia:

1. Amor à Amazônia: Valorização e respeito às diversas formas de vida que coexistem na Amazônia e a promoção do seu bem-viver.

2. Respeito Mútuo: Respeito à diversidade de pessoas e organizações, suas particularidades e saberes.

3. Espaço Participativo: Conexão e intercâmbio de conhecimentos e experiências, com diálogo inclusivo e ampla representatividade.

4, Compromisso: Processos e resultados construídos com base na ciência, conhecimentos tradicionais e de acordo com as leis nacionais e convenções internacionais.

5. Transparência: Processos de gestão, governança e comunicação transparentes e acessíveis.

Realização



Consultoria



Apoio



Apoio à impressão



Somos capítulo



Secretaria Executiva



Apoiamos



ISBN: 978-65-00-52836-7

