

# MANUAL DE RESTAURAÇÃO POR NUCLEAÇÃO APLICADA PARA FLORESTAS TROPICAIS

---

# AUTORES

**Sarah Jane Wilson**

Escola de Estudos Ambientais, Universidade de Victoria, Canadá

**Nikola S. Alexandre**

Conservação Internacional; Chefe do Departamento de Restauração, Centro de Soluções Climáticas Naturais

**Karen D. Holl**

Departamento de Estudos Ambientais, Universidade da Califórnia, Santa Cruz

**J. Leighton Reid**

Escola de Ciências Vegetais e Ambientais, Virginia Tech

**Rakan Zahawi**

Lyon Arboretum e Escola de Ciências da Vida, Universidade do Havaí em Mānoa

**Danielle Celentano**

Conservação Internacional, Brasil; Aliança para a Restauração da Amazônia, Brasil; Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, UEMA, Brasil

**Starry Sprenkle-Hyppolite**

Conservação Internacional; Diretor, Ciência da Restauração, Centro de Soluções Climáticas Naturais

**Leland Werden**

Lyon Arboretum, Universidade do Havaí em Mānoa

Os dados apresentados neste relatório são da responsabilidade dos autores e não necessariamente refletem as visões das contratadas.

**Elaboração:**

Sarah Jane Wilson  
Escola de Estudos Ambientais, Universidade de Victoria, Canadá; [sjwil@umich.edu](mailto:sjwil@umich.edu)

**Apoio:**

Conservação Internacional,  
Agência dos Estados Unidos para o Desenvolvimento Internacional  
Starry Sprenkle-Hyppolite, Diretor,  
Ciência da Restauração;  
[ssprenkle-hyppolite@conservation.org](mailto:ssprenkle-hyppolite@conservation.org)

Março de 2021

# ÍNDICE

<b>RESUMO EXECUTIVO</b>	04
<b>INTRODUÇÃO</b>	07
Box 1: Diretriz sobre o plantio e a implementação do plantio de árvores para a restauração florestal	
<b>SEÇÃO 1: NUCLEAÇÃO APLICADA: O QUE É E POR QUE ADOTÁ-LA?</b>	13
<b>SEÇÃO 2: DESAFIOS E OPORTUNIDADES SOCIAIS E CULTURAIS PARA A NUCLEAÇÃO APLICADA.</b>	18
Box 2: A utilização de nucleação aplicada em maiores escalas	
<b>SEÇÃO 3: QUANDO E ONDE A NUCLEAÇÃO APLICADA DEVE SER UTILIZADA (EM COMPARAÇÃO COM OUTRAS TÉCNICAS)?</b>	23
<b>SEÇÃO 4: TAMANHO, FORMATO, ESPAÇAMENTO E CONFIGURAÇÃO DAS ILHAS DE ÁRVORES</b>	28
<b>SEÇÃO 5: SELEÇÃO DE ESPÉCIES E MATERIAIS DE PLANTAS</b>	33
<b>SEÇÃO 6: MANUTENÇÃO PARA NUCLEAÇÃO APLICADA.</b>	37
<b>SEÇÃO 7: MONITORAMENTO</b>	40
<b>SEÇÃO 8: APRENDENDO COM A PRÁTICA - CRIANDO “EXPERIMENTOS” DE CAMPO.</b>	43
<b>SEÇÃO 9: RECURSOS</b>	47
<b>SEÇÃO 10: EXEMPLOS DE CASO</b>	49
Exemplo de Caso 1: Ilhas de árvores em floresta de encosta tropical no sul da Costa Rica	
Exemplo de Caso 2: Nucleação para avaliar o efeito da densidade de plantio e do tamanho das folhas na regeneração da carqueja ( <i>Ulex Europaeus</i> ) e desempenho do plantio	
Exemplo de Caso 3: Nucleação aplicada para recuperar populações de espécies de madeira localmente ameaçadas	
Exemplo de Caso 4: Nucleação aplicada para restaurar a mata ciliar na Fazenda Escola da Universidade do Maranhão	
Exemplo de Caso 5: Adaptação da nucleação aplicada a ameaça de queimadas no leste de Madagascar	
Exemplo de Caso 6: Comparando três projetos de plantio de árvores para a restauração da Mata Atlântica no Brasil.	
<b>REFERÊNCIAS</b>	72

# RESUMO EXECUTIVO

Soluções inovadoras e econômicas são prementes para que se faça frente aos compromissos globais e ao potencial de restauração. A nucleação aplicada (NA) é uma técnica que integra o plantio de árvores e a sucessão natural para restaurar e replantar florestas. As árvores são plantadas em ilhas, em vez de todo o terreno, reduzindo, assim, os custos e a mão de obra. A nucleação aplicada melhora a recuperação das florestas naturais e dispõe das espécies animais para dispersar as árvores nativas, o que pode gerar florestas com alta biodiversidade nativa. Ela apresenta um forte potencial restaurador em escala das florestas em regiões tropicais e subtropicais.

Apesar de promissora, a NA não tem sido amplamente implementada. Com frequência, os políticos, doadores e profissionais não estão cientes da prática, tendo havido poucos exemplos em larga escala documentados, e insuficientes orientações para praticá-la. Também há dificuldades de cunho social à sua adoção: habitats jovens em recuperação, em particular os submetidos a NA, costumam ser vistos como em terrenos em desuso ou “baldios”. A conscientização tanto das comunidades locais quanto das altas instâncias governamentais/regulatórias sobre o processo da NA é fundamental para o processo. O presente manual advoga em

prol da NA, constituindo fonte de diretriz prática sobre onde utilizá-la, a concepção e plantio, implementação e a manutenção/monitoramento de terrenos recuperados.

Quando utilizada em contextos adequados, a nucleação aplicada:

- 1. Apresenta boa relação custo-benefício.** É mais barata que o plantio de árvores, porém mais célere em comparação à regeneração natural independente.
- 2. Rende resultados comparáveis a um plantio mais intensivo.** Quando as condições ecológicas permitem



---

certa recuperação da floresta natural, comprovou-se que a NA é tão eficaz quanto o plantio de árvores ao longo dos anos.

- 3. É passível de implementação em escala.** Por exigir um menor esforço, a NA pode permitir que as ações de plantio de árvores se estendam por toda a paisagem.
- 4. Combina os melhores elementos do plantio de árvores e da regeneração natural (RN).** O plantio de árvores pode gerar oportunidades de envolvimento social e integração local das árvores "úteis", embora a RN estenda o plantio de árvores à paisagem.
- 5. É aplicável a uma vasta gama de contextos tropicais.** A nucleação aplicada já foi utilizada em regiões tropicais e temperadas, e em diversas altitudes. Há vastas áreas nos trópicos nas quais a sucessão natural poderia ser aprimorada, tornando-se adequadas à NA.

- 4. Decidir quando e como as árvores devem ser dispostas na paisagem,** incluindo o tamanho e o espaçamento das ilhas, num dado contexto. Mais ilhas, de maiores dimensões, provavelmente significam resultados mais rápidos, mas a maiores custos.
- 5. Escolher espécies** que irão crescer bem, com uma rápida expansão do dossel e atrair dispersores de sementes para o terreno.
- 6. Planejar a manutenção e o monitoramento.** Em geral, isto requer o cuidado com as mudas plantadas, e no manejo da vegetação, incêndios etc. nas áreas de regeneração natural entre as ilhas de árvores.

A concepção e implementação da NA implica uma série de etapas, incluindo:

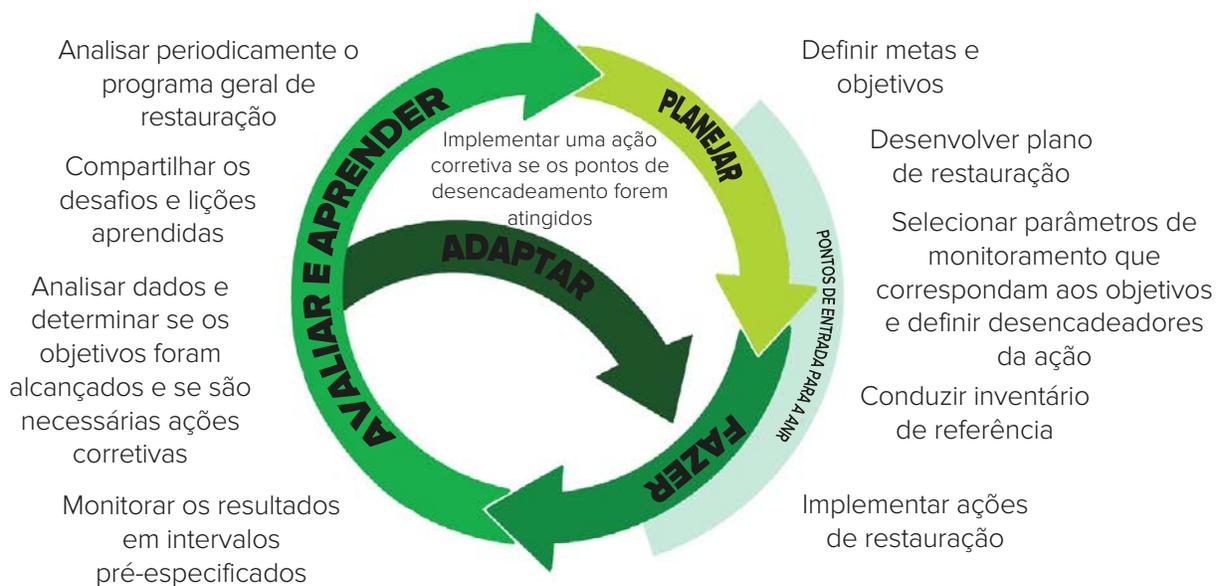
- 1. Decidir quando e onde uma NA deve ser utilizada** (em vez da RN ou das plantações). Identificar áreas adequadas para a NA, nas quais 1) uma determinada recuperação seja possível, mas 2) a aceleração seja a primeira e fundamental etapa.
- 2. Entender o contexto regulatório,** se e de que forma a NA pode ser utilizada. como modo econômico de restaurar florestas em locais nos quais os proprietários/empresas estejam sujeitos a exigências de restauração por força legal.
- 3. Avaliar as necessidades e experiências locais com a regeneração de florestas.** A nucleação aplicada pode ser menos adequada que as plantações convencionais em regiões nas quais a população retire renda diretamente da terra.



# INTRODUÇÃO

## OBJETIVO E ESCOPO

A nucleação aplicada (NA) representa uma estratégia de restauração na qual ilhas de árvores (também chamadas de núcleos ou aglomerados) são plantadas para acelerar a recuperação do habitat florestal. A nucleação aplicada pode ser um componente da “regeneração natural assistida” (RNA), na qual os profissionais ajudam a acelerar os processos de recuperação de florestas naturais por meio da proteção, manejo e/ou manutenção de florestas em regeneração (1, 2). Existem outros métodos de criação de núcleos, como semear sementes diretamente em aglomerados, mas o presente manual se concentra exclusivamente no uso de árvores plantadas em “ilhas”. O manual aborda por qual motivo, como, quando e onde usar a NA para restaurar florestas tropicais, incluindo elementos de planejamento e concepção, considerações logísticas e orientações específicas de NA relativas à manutenção e monitoramento de terrenos. Ele também fornece orientação para aprendizagem prática e inclui exemplos de casos.



**Figura 1.** O processo de restauração baseado num ciclo de manejo adaptativo (modificado de (4)). A nucleação aplicada pode ser considerada um método possível nos estágios de plantio e implementação, a depender das metas, recursos financeiros e condições da ecologia local associadas a um dado projeto. Este manual oferece informações detalhadas para a integração da AN no processo de restauração mais abrangente.



© JESSICA SCRANTON

A nucleação aplicada é uma técnica que deve ser situada dentro de uma estrutura de restauração mais ampla (Figura 1) que inclua processos para a escolha do terreno, envolvimento das partes interessadas, estabelecimento de metas, implementação e monitoramento. Tais componentes críticos da restauração (3) são detalhados na seção 9: Recursos.

### **A NECESSIDADE DESTE MANUAL**

A Assembleia Geral das Nações Unidas declarou o período de 2021-2030 como a Década das Nações Unidas para a Restauração de Ecossistemas, com o objetivo de “aumentar maciçamente os esforços de restauração de ecossistemas degradados e destruídos como uma medida comprovada para combater a crise climática e aumentar a segurança alimentar, o abastecimento de água e a biodiversidade”. (5).

A maior parte das florestas originais do mundo foram destruídas e degradadas (6, 7). Dado o papel crítico que a conservação e restauração de florestas desempenha na mitigação e adaptação às mudanças climáticas, grandes compromissos de plantio de árvores e restauração florestal foram lançados nos últimos anos – o Acordo de Paris, pelo menos três iniciativas de “Trilhões de Árvores”<sup>1</sup> (8), e o Bonn Challenge propõem reflorestar e restaurar paisagens em grandes escalas. Ao mesmo tempo, o apoio e a publicidade das iniciativas de plantio de árvores tem aumentado dos setores público, privado e corporativo.

A atenção e o apoio ao plantio de árvores e a restauração estão conquistando uma demanda proporcional às técnicas de implementação eficazes. Atualmente, os recursos alocados na

<sup>1</sup> [tt.org](https://trilliontrees.org/) trillion trees effort; Trillion Trees (<https://trilliontrees.org/>) (join effort between WWF, WCS, and Birdlife International) and Plant for the Planet (<https://www.trilliontreecampaign.org/>).

restauração são insuficientes para atingir as metas globais, sendo necessários recursos adicionais, além de formas com boa relação custo-benefício de restauração de florestas (9). A nucleação aplicada faz com que os recursos e os esforços de plantio de árvores vão mais longe: utiliza o plantio de árvores, mas com intensidade e custo muito menores do que os métodos tradicionais. Em vez de plantar árvores em todo o terreno, as árvores são plantadas em ilhas estratégicas, que ajudam a recuperar as florestas no restante do terreno.

### **COMO TIRAR O MÁXIMO PROVEITO DO MOVIMENTO GLOBAL DE PLANTIO DE ÁRVORES**

Apesar da atenção e dos recursos sem precedentes para o plantio de árvores, não houve reflexão suficiente sobre quando, onde e como as árvores devem ser plantadas e como avaliar o “sucesso” das iniciativas (10, 11). A maioria das iniciativas de plantio de árvores focaliza apenas o plantio de árvores no estilo de plantio, muitas vezes sem avaliar se as florestas se regenerariam naturalmente sem o plantio, ou quanto plantio é necessário para ajudar na recuperação da floresta natural (12). O plantio de árvores é essencial em algumas áreas nas quais a terra está fortemente degradada ou em determinadas condições sociais (Fig. 2). Mas onde as florestas

puderem voltar a crescer, o plantio de árvores também é caro em comparação com deixar as florestas se regenerarem naturalmente e pode resultar em florestas mais homogêneas, mas também pode resultar em espécies diversas, porém mal adaptadas ao local, dependendo da diversidade e dos requisitos do estágio sucessional/local das espécies plantadas (13). O plantio de árvores também tem uma pegada ecológica maior do que a regeneração natural. Ao plantar árvores, os profissionais predeterminam as espécies dominantes de um terreno por anos ou décadas, às vezes com consequências negativas para o habitat da vida selvagem ou a ciclagem de nutrientes (14, 15). As iniciativas de plantio de árvores planejadas de forma ineficiente representam um uso ineficaz de recursos limitados (Quadro 1). Por exemplo, um estudo demonstrou que, em pastagens na região central do Brasil, as árvores que estavam se regenerando naturalmente foram danificadas pelo plantio de árvores — dessa forma, o plantio de árvores não aumentou o número de árvores crescendo em geral. Nesse caso, plantar sementes de espécies que não rebrotaram naturalmente (em vez de mudas) poderia ter sido uma opção melhor e menos trabalhosa (16).

O plantio de árvores é apenas uma opção de restauração, e funciona melhor em



alguns contextos do que em outros (10, 17, 18) (Quadro 1; Fig. 2). Os profissionais, doadores e demais partes que apoiam o plantio de árvores devem avaliar e escolher estratégias de restauração com base nas condições ecológicas do terreno (solo, nível de degradação, tipo de floresta e assim por diante), a quantidade de floresta remanescente nas proximidades, o histórico de uso do terreno, as necessidades do habitat ou os requisitos das espécies-chave e necessidades e metas sociais e econômicas locais (17). Quando as florestas

puderem se regenerar naturalmente, proteger as áreas em regeneração pode ser suficiente (19). O plantio de árvores no estilo de plantação pode ser necessário quando as florestas forem incapazes de se regenerar naturalmente, quando as espécies invasoras dominarem a regeneração natural e/ou quando os proprietários dependerem de renda direta da terra (18, 20, 21). A NA é mais apropriada em áreas nas quais alguma recuperação natural for possível, mas pode ser acelerada com plantio estratégico de árvores (14, 22) (Fig. 2).

## Regeneração Natural



Em diversos lugares, as florestas podem ser capazes de se regenerar de forma natural, e **a restauração florestal poderá ser atingida simplesmente protegendo tais florestas em regeneração natural.**

## Plantações



O plantio de árvores no estilo de plantações — **nas quais uma diversidade de espécies de árvores nativas é plantada em fileiras regularmente espaçadas em toda a área de restauração** — pode ser especialmente eficaz em áreas degradadas e/ou áreas longe de florestas nativas remanescentes, que são incapazes ou demoram a se recuperar sem assistência.

## Nucleação Aplicada



A nucleação aplicada **envolve o plantio em ilhas de árvores estratégicas, por forma a acelerar a recuperação da floresta natural.** Este método é mais adequado em áreas nas quais certa recuperação natural seja possível, e pode fazer as iniciativas de plantio de árvores prosperarem ainda mais em contextos tropicais.

**Figura 2:** A nucleação aplicada comparou outras técnicas comuns de restauração florestal, regeneração natural e plantio no estilo de plantações.

## BOX 1: DIRETRIZ SOBRE O PLANTIO E A IMPLEMENTAÇÃO DO PLANTIO DE ÁRVORES PARA A RESTAURAÇÃO FLORESTAL

O plantio de árvores deve ser cuidadosamente planejado e executado, inclusive envolvendo partes interessadas locais nos processos de definição de metas; alocação de recursos para zelar e monitorar os terrenos restaurados; e manejar os impulsionadores de perda florestal (23). A diretriz a seguir pode ajudar a tornar o plantio de árvores mais eficaz em um amplo contexto. Confira também a seção de "recursos" para obter ferramentas e orientação adicional.

- 1. Identifique e tome medidas para coibir os impulsionadores do desmatamento.** O plantio eficaz de árvores exige que os profissionais avaliem se as florestas ainda estão sendo desmatadas na mesma região e, em caso afirmativo, trabalhem para entender os fatores que levam à perda de florestas e para interromper o desmatamento. As florestas nativas e intactas apresentam uma maior biodiversidade, armazenam mais carbono e hospedam mais espécies raras e endêmicas do que as florestas em regeneração, e é praticamente impossível recriar a florestas que existia antigamente em um local (24–26) (Fig. 3). As florestas intactas também são importantes para as iniciativas de restauração, e agem como fontes de sementes e fauna para as florestas em regeneração próximas (20, 27, 28). A restauração pode ser mais rápida, e as florestas restauradas mais ricas em espécies, quando as florestas remanescentes são protegidas. Um exemplo de como atingir tal ganho (sugerido pelo Programa de Compensações de Negócios e Biodiversidade) é firmar que, para cada área restaurada, uma área equivalente de floresta intacta deve ser conservada (29).
- 2. Avalie se o plantio de árvores é necessário para atingir as metas do projeto.** Os planejadores, implementadores e doadores devem considerar com cuidado quando, como e onde o plantio de árvores é necessário para atingir as metas do projeto (10, 12, 30). Para decidir que estratégia de restauração é mais adequada, os objetivos da restauração devem ser claramente estabelecidos, de forma que o plantio não se torne um objetivo em si (10). Muitas vezes, as métricas como "número de árvores plantadas" ou "área plantada com árvores" são utilizadas para reportar o sucesso de um projeto de plantio de árvores. Mas para que as árvores proporcionem sequestro de carbono, biodiversidade e outros benefícios, muitas vezes são necessárias várias décadas. Se o objetivo último for uma floresta resiliente e autossustentável, esse objetivo deve guiar o processo de planejamento e a métrica utilizada para relatar o sucesso. As metas do projeto devem ser desenvolvidas em parceria com as partes interessadas pertinentes, incluindo as comunidades e populações locais (10, 31, 32). De uma perspectiva ecológica, a terra pode ser deixada em pousio por alguns anos para que se verifique se as florestas se regeneram naturalmente e determinar se o plantio é mesmo necessário (33).
- 3. Compreenda o uso da terra e o contexto da paisagem,** inclusive o uso da terra passado e atual, e o que atualmente existe na paisagem (incluindo os remanescentes de árvores e fauna, para o componente da dispersão de sementes). Isso ajudará a determinar se o plantio de árvore é necessário, e em caso positivo, a intensidade (34).
- 4. Procure soluções nas quais o plantio de árvore irá aprimorar os sistemas de produção e meio de vida locais.** É essencial compreender como o plantio de árvores pode se adequar aos meios de vida e sistemas agrícolas locais. Sem o apoio da população local, as iniciativas de plantio de árvores não raro ficam aquém do esperado, devido a ausência de manutenção e/ou proteção (35). Por outro lado, vincular o plantio de árvores a práticas agrícolas sustentáveis e implementá-lo de uma maneira que faça frente a ameaças percebidas à agricultura pode ajudar a angariar apoio e aumentar a adoção dessas práticas amplamente (31, 36).
- 5. Estabeleça um compromisso e financiamento em longo prazo para garantir que as árvores sobrevivam e cresçam.** O financiamento sustentável é fundamental para o êxito de uma restauração (10, 37). Ele começa com o reconhecimento e planejamento dos custos totais do estabelecimento das árvores, incluindo 1) o custo de avaliação das condições ecológicas e sociais antes do início do plantio, 2) a manutenção do terreno após o plantio das árvores (geralmente por 2-5 anos, até que as árvores estejam implantadas) e 3) as estratégias de desenvolvimento — como a proteção contra incêndios e atividades pecuárias — para garantir a saúde e a persistência da floresta a longo prazo.

Com frequência, tais custos essenciais não são considerados — por exemplo, diversos programas de plantio de árvores oferecem um preço fixo por árvore (como US\$ 1) que explicitamente não abrange o custo total do estabelecimento e manutenção das árvores. Essas iniciativas desvinculam os custos de plantio e manutenção e deixam os profissionais com a difícil tarefa de garantir o financiamento para a manutenção das árvores após elas terem sido plantadas. Trata-se, portanto de um efeito adicional da diminuição do custo percebido do plantio de árvores no mercado, tornando-o mais difícil do que obter financiamento para o efetivo plantio de árvores.

**6. Aborde a possibilidade de “vazamento”, quando a restauração em um lugar leva ao desmatamento em outro.** Entender como o reforestamento em um lugar pode afetar o uso da terra em outro, por exemplo, se ocasionar o deslocamento da agricultura ou outro uso da terra, é importante para garantir que os impactos da restauração são “adicionais”.



**Figura 3:** Resumo dos custos e benefícios de diferentes técnicas de restauração comumente usadas nos primeiros 15-20 anos (adaptado de 2). Observe que os custos e benefícios dependem do contexto - em alguns locais degradados, a regeneração natural é lenta ou impossível de ocorrer e mostraria muito menos benefícios. Nesta figura, parte-se do pressuposto que o local seria passível de qualquer uma das três técnicas de restauração. A métrica de degradação da terra está sugerindo quando as intervenções de regeneração natural versus nucleação aplicada versus plantações devem ser aplicadas (ao longo de um gradiente de degradação crescente).

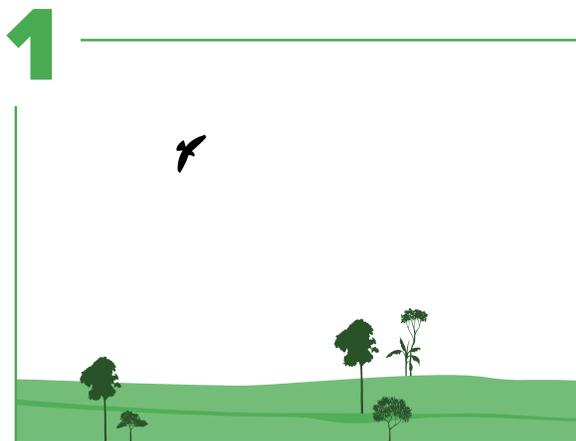


SEÇÃO 1:

# NUCLEAÇÃO APLICADA: O QUE É E POR QUE ADOTÁ-LA?

## O QUE É A NUCLEAÇÃO APLICADA E COMO FUNCIONA?

A nucleação aplicada (NA) - também chamada de “ilhas de árvores” ou “plantio de aglomerados” - envolve o plantio de pequenas ilhas de árvores que 1) criam habitat para dispersores de sementes, 2) fornecem sombra para suprimir o crescimento de plantas amantes do sol e outras condições que aprimoram o crescimento das árvores e 3) exportam sementes de árvores plantadas para a paisagem circundante (Fig. 4). A nucleação aplicada imita o processo natural de sucessão, e tais atributos ajudam a área circundante a se regenerar mais rapidamente do que apenas pela regeneração natural. As árvores podem ser plantadas em pequenas ilhas, ou em faixas ou outras configurações (confira o estudo de caso 6), dependendo do ecossistema, paisagem e metas do projeto (39). A nucleação aplicada só funciona se as florestas puderem se regenerar naturalmente (por exemplo, se as condições abióticas e bióticas forem adequadas), caso em que pode facilitar e acelerar o processo.



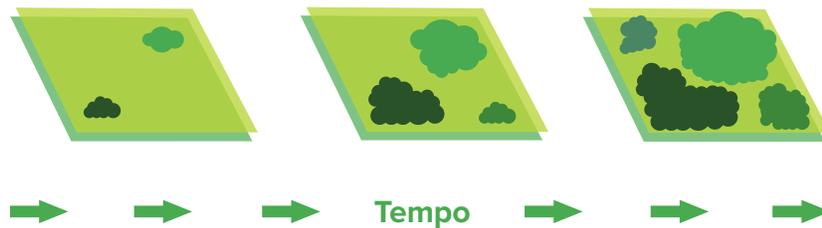
**Após uma perturbação, manchas isoladas de espécies arbóreas pioneiras começam a retornar. Sob os seus dosséis esparsos, o clima é mais frio e úmido do que a área circundante, o que cria condições mais favoráveis para espécies de vida mais longa. A certa altura, a vantagem relativa da AN sobre o plantio tradicional de árvores será perdida se o plantio de árvores se tornar muito intensivo. Com o tempo, tais dosséis de árvores espalhados atuam como viveiros, e outras árvores germinarão e crescerão por baixo e ao redor das bordas, expandindo o tamanho do canteiro de árvores. Eventualmente, as manchas se juntam, fechando o dossel e formando uma floresta contínua.**

**Figura 4:** O processo de sucessão florestal/regeneração natural acontece de forma irregular por meio do estabelecimento e disseminação de aglomerados de árvores.

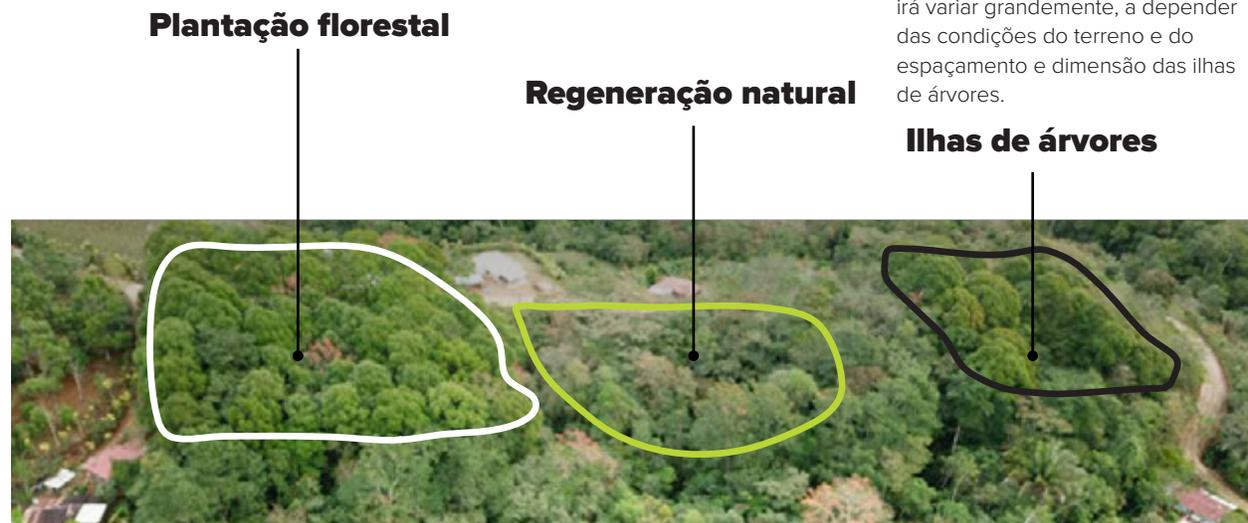
A nucleação aplicada é baseada no modelo de nucleação de sucessão, um padrão no qual a vegetação se recupera em manchas, após uma perturbação como um incêndio ou vendaval. As primeiras plantas a retornar ao terreno perturbado modificam o ambiente para torná-lo mais favorável para as posteriores, de modo que, com o tempo, as manchas de vegetação em desenvolvimento se expandem e se fundem (40) (Fig. 4, Fig. 5). A nucleação aplicada conta com as florestas e árvores ao redor do terreno como fontes de sementes e acelera esse processo ao estabelecer essas primeiras manchas de árvores por meio do plantio de árvores. Quando os fragmentos florestais próximos estiverem ausentes, as árvores isoladas em campos ou cercas vivas em paisagens agrícolas podem fornecer fontes de sementes (por vezes, até de espécies sucessionais tardias), portanto, proteger essas árvores também é importante.

## PORQUE UTILIZAR A NUCLEAÇÃO APLICADA?

Quando as condições forem adequadas, a NA pode ajudar a restaurar florestas tão bem ou até melhor do que o plantio tradicional de árvores, mas a um custo menor por área. O esforço necessário em comparação com o plantio tradicional de árvores é baixo: Por exemplo, em um experimento de NA de longo prazo, as parcelas que foram plantadas com apenas 27% das árvores usadas em parcelas próximas mostraram graus semelhantes de recuperação após 10-15 anos (22). A porcentagem apropriada de área de terra para plantar depende 1) dos recursos disponíveis e 2) da rapidez com que as florestas podem se regenerar naturalmente.



**Figura 5:** Regeneração natural através do **modelo de sucessão de nucleação** visto de cima (adaptado de (41)). A nucleação aplicada acelera esse processo ao estabelecer as primeiras ilhas de árvores por meio do plantio de árvores, em vez de esperar que elas se estabeleçam naturalmente (o que pode nunca acontecer em terrenos especialmente degradados). O efetivo tempo necessário para a recuperação da cobertura arbórea irá variar grandemente, a depender das condições do terreno e do espaçamento e dimensão das ilhas de árvores.



**Figura 6:** Terrenos de estudo de nucleação aplicada na Costa Rica após 7-8 anos (adaptado de (41)).

A nucleação aplicada foi estudada em vários ecossistemas, incluindo florestas tropicais e temperadas, florestas de várzea e de encosta/de altitude mediana, matagais secos e pastagens (por exemplo,, (22, 42–44). No entanto, apenas alguns estudos compararam os resultados da NA com o plantio de árvores no estilo de plantação, regeneração natural e um terreno de referência de floresta primária, o que limita a comparação dos resultados da NA em relação a outros métodos (22) (Fig. 3, Fig. 6). Mas esses estudos mostram que,

se utilizada em condições apropriadas, a nucleação aplicada pode produzir fechamento de dossel semelhante, recrutamento de árvores (novas árvores crescendo no terreno), riqueza de espécies de árvores e processos de dispersão de sementes para plantio em estilo de plantação (22, 45). Experimentos em pequena escala sugerem que a NA pode ser uma boa opção para cumprir os compromissos de restauração florestal em grande escala (22), mas são necessários testes em maior escala desse método



**A**

Campos antigos invadidos por *Megathyrus maximus* antes do plantio de ilhas de árvores



**B**

Futura ilha de árvores limpa de *Megathyrus maximus* antes do plantio



**C**

Limpeza de manutenção de gramíneas invasoras não nativas cerca de 3-6 meses após o plantio



**D**

25 meses após o plantio. Fileiras de árvores de jangadeiro (*Heliocarpus americanus*) estão visíveis

**Figura 7:** Os resultados da NA no campo após apenas dois anos de rebrota na floresta de encosta, Colômbia (exemplo de caso 3).

## CUSTO

A NA é mais barata do que os métodos tradicionais de plantio de árvores (46). Numa NA, muitos custos são dimensionados para a área plantada, o que significa que uma área de NA plantada com 20% do número de árvores custaria um quinto do que uma plantação custaria. (47-49). Os custos fixos, como proteção de florestas, monitoramento, compensação de proprietários de terra, custos do terreno, planejamento de projetos e assim

por diante, permaneceriam semelhantes à NA, o plantio de árvores e a regeneração natural, e deveriam ser estimados separadamente para calcular o custo total (Fig. 8). Embora as comparações variem, em geral, a NA apresenta bom custo-benefício e pode fazer com que os investimentos em plantio de árvores se estendam ainda mais, desde que seja utilizada em condições sociais e ecológicas apropriadas.

<b>Categoria de Custo</b>	<b>RN</b>	<b>NA</b>	<b>Plantio</b>	<b>Observações</b>
<b>Envolvimento, planejamento e sensibilização da comunidade</b>	\$	\$	\$	A NA e a RN podem exigir mais explicações porque há menor familiaridade.
<b>Terreno</b>	\$	\$	\$	Pode haver custos ligeiramente maiores para uma NA e RN se não forem vistos como oferecendo os benefícios do plantio de árvores.
<b>Monitoramento</b>	\$	\$	\$	
<b>Materiais das plantas</b>	–	\$	\$\$\$	Depende da densidade das árvores plantadas para a NA.
<b>Mão de obra do plantio</b>	–	\$	\$\$\$	Depende da densidade das árvores plantadas para a NA.
<b>Manutenção - capina em torno de árvores plantadas</b>	–	\$	\$\$	Pode ser mais trabalhoso limpar ao redor de trechos de árvores não plantadas em fileiras; plantas não florestais podem levar mais tempo para serem sombreadas.
<b>Exclusão de animais em pastagem</b>	\$\$	\$\$	\$	Pode ser mais alto para a RN e a NA porque o capim para gado persiste por um maior tempo.
<b>Proteção contra incêndios</b>	\$\$	\$\$	\$	Pode ser maior para RN e NA porque a vegetação entre as ilhas é mais inflamável.
<b>Uso/exploração ilegal da terra</b>	\$\$	\$\$	\$	Pode ser maior para a RN e a NA porque as árvores conferem propriedade/demonstram uso; as pessoas podem pôr o gado em pastagem na grama. Quando as árvores plantadas forem maiores, isso poderá reverter à medida que as pessoas colham das árvores plantadas.

**Figura 8:** Custos relativos de nucleação aplicada (NA) em relação ao plantio convencional e regeneração natural (RN). Observe que os custos 'fixos' por unidade de área não variam com a área restaurada, enquanto os "escaláveis", sim. (Adaptado de (50)). Os custos são relativos ao longo de cada fileira, mas não por coluna.



SEÇÃO 2:

# DESAFIOS SOCIAIS E CULTURAIS E OPORTUNIDADES PARA A NUCLEAÇÃO APLICADA.

A nucleação aplicada ainda não é amplamente utilizada ou reconhecida como técnica de restauração, pois sua implementação pode apresentar desafios culturais, legais e políticos. Alinhar as metas da restauração com as necessidades da população local por meio do envolvimento das partes interessadas e do planejamento participativo é fundamental para garantir que a restauração seja aceita, protegida e persista ao longo do tempo. É essencial que se compreenda quem utiliza a terra e como; o impacto das políticas nacionais sobre o uso local da terra; a definição das metas; e consideração de como a NA pode se encaixar em um cenário de trabalho. Uma discussão completa sobre o envolvimento das partes interessadas está além do escopo deste manual, mas há muitos recursos disponíveis (consulte o final da seção).

Muitas pessoas esperam que a restauração seja ordenada e que possa ver resultados rápidos. Plantar árvores em fileiras corresponde a essas expectativas se as árvores sobreviverem e crescerem bem. Por outro lado, em geral, as áreas de regeneração natural levam tempo para se desenvolverem em algo que se parece com uma “floresta” (51). No início, essas áreas às vezes são consideradas não utilizadas ou estéreis, e podem correr o risco de serem recuperadas ou usadas para fins não florestais (22, 52). Numa NA, áreas entre ilhas de árvores em regeneração natural são não raro percebidas como “confusas” – mais limpas e menos ordenadas, o que pode não se alinhar às normas e preferências culturais (22, 51). Florestas jovens em regeneração também podem não ser consideradas “florestas” pela política ou pelos proprietários locais até atingirem um determinado tamanho, cobrirem uma certa área ou até que espécies-chave retornem (Wilson, dados não publicados) (11, 53). Até que esses critérios sejam atendidos, a vegetação em regeneração corre maior risco de ser desmatada (54, 55). Permitir que as florestas se regenerem naturalmente também requer pouca ação por parte dos proprietários, além de proteger a terra, o que é muito diferente do investimento necessário e da ordenação da agricultura ou do plantio convencional de árvores e pode representar uma grande mudança no pensamento sobre o uso da terra e gestão (36, 56, 57). Portanto, pode ser necessário fornecer um envolvimento adicional aos proprietários de terras nos estágios iniciais de implementação, para ajudá-los a vislumbrarem o importante processo que está acontecendo dentro daquela aparente “bagunça”. Os terrenos de demonstração nos quais as pessoas possam ver em primeira mão como a NA pode ser eficaz são úteis para conscientizar os proprietários locais sobre a técnica (56) (Estudo de caso 4 deste manual).

A nucleação aplicada pode fazer uso do componente ativo do plantio de árvores para superar alguns dos desafios enfrentados pela regeneração natural. O plantio de árvores torna a restauração mais atraente para os proprietários porque:

1. É prático, ativo, requer trabalho e investimento e dá aos proprietários algum controle sobre os resultados.

2. Mostra que a terra está sendo usada, o que pode reduzir intrusões e, em alguns contextos, torna a propriedade tangível (formal ou informal). Por exemplo, nas Filipinas, plantar árvores pode conferir direitos informais e formais à terra por meio do Certificado de Propriedade de Plantação de Árvores, uma vez que as áreas tenham sido plantadas com árvores.
3. Pode ser usado para estabelecer espécies benéficas.
4. É reconhecido por muitos governos e agências como a principal forma de restaurar florestas.

Para fazer o melhor uso do plantio de árvores em NA, os profissionais devem envolver os proprietários de terras locais e outras partes interessadas para projetar a área de NA; bem como para compreender as políticas (passadas e atuais) a respeito das reivindicações fundiárias por meio do uso. Em caráter ilustrativo, algumas soluções poderiam ser:



**Figura 9:** Membros da comunidade local processando sementes e selecionando sementes saudáveis e de alta qualidade para a restauração de uma espécie localmente ameaçada na Colômbia (Fotos de Angélica Cogollo) (Exemplo de caso 3).



**Figura 10:** Desafios sociais e oportunidades da nucleação aplicada como técnica de restauração e possíveis formas de superá-los. (a) muitas vezes, a restauração é vista como confusa, ou a terra é considerada não utilizada ou estéril nos estágios iniciais da regeneração. As possíveis soluções possíveis são: b) plantar árvores ao longo das fronteiras de propriedade; c) plantar espécies localmente úteis em ilhas para colheita; d) usar o plantio de árvores para engajar comunidades e partes interessadas.

2. Os profissionais podem considerar como demonstrar que a terra está sendo utilizada no projeto de plantio, alterando a configuração das plantações para, por exemplo, definir as fronteiras da propriedade ou demonstrar intencionalidade.
3. Espécies valorizadas localmente podem ser plantadas em ilhas de árvores e em áreas em regeneração — descobriu-se que plantar espécies comercializáveis aumenta o apoio da comunidade e aumenta o senso de propriedade em áreas de regeneração natural (57, 58).

4. O plantio de árvores pode ser utilizado para envolver as comunidades e fornecer emprego local para aumentar o apoio à restauração.

Os estudos de caso apresentados neste manual fornecem exemplos de como a NA engajou intencionalmente comunidades marginalizadas, que passaram a participar do trabalho, incluindo treinamento e capacitação, e o impacto social positivo que a iniciativa alcançou (exemplos de caso 2 e 4) (Fig. 9). A NA, como outras atividades ativas de restauração, pode se tornar uma oportunidade de gerar empregos significativos e construir

comunidades, com planejamento cuidadoso e inclusivo (Fig. 10).

## FERRAMENTAS E RECURSOS

*Para o processo geral de compreensão do uso local e envolvimento das partes interessadas:*

- [A Guide to the Restoration Opportunities Assessment Methodology \(ROAM\): Assessing forest landscape restoration opportunities at the national or sub-national Level](#). IUCN: International Union for Conservation of Nature & WRI: World Resources Institute, 2014. (vide páginas 58 a 63 para conferir a ferramenta de Priorização de Partes Interessadas de Intervenções de Restauração e outras informações pertinentes).
- [Land Use Dialogue Guide: Dialogue as a tool for landscape approaches to environmental challenges](#). TFD: The Forests Dialogue, 2020. (for more information, visit <https://theforestdialogue.org/initiative/land-use-dialogues-luds>).
- [Peace Corps Participatory Analysis for Community Action \(PACA\) Training Manual](#). Peace Corp, 2007. (Orientada ao uso em nível comunitário).
- [Good Practices in Participatory Mapping: A review prepared for the International Fund for Agricultural Development \(IFAD\)](#). IFAD, 2009.
- Rapid Rural Appraisal and Participatory Rural Appraisal: A manual for CRS field workers and partners. Freudenberger, K. S., CRS: Catholic Relief Services, 2008.

*Para a escolha de espécies:*

- [Agroforestry Tree Domestication: A primer](#). Dawson et al., ICRAF: The World Agroforestry Centre, 2012
- [In Equal Measure: A user guide to gender analysis in agroforestry](#). Catacutan et al. (Eds), ICRAF: The World Agroforestry Centre, 2014.

*Para entender como tornar a RNA mais relevante para os usuários locais da terra:*

- Assisted Natural Regeneration: Methods, results and issues relevant to sustained participation by communities. Dugan, P. [In Forest Restoration for Wildlife Conservation](#). Elliott, et al. (Eds), ITTO: International Tropical Timber Organisation & FORRU: The Forest Restoration Research Unit, 2000.

## BOX 2: A UTILIZAÇÃO DA NUCLEAÇÃO APLICADA EM MAIORES ESCALAS

A nucleação aplicada apresenta um bom potencial de restauração de florestas em escala, com menos custo e esforço do que o plantio convencional de árvores, em cronogramas comparáveis (22). Existem apenas alguns exemplos até o momento em que a NA foi implementada em escalas maiores, incluindo a Península de Osa na Costa Rica (Conservação de Osa) e em Madagascar (Green Again Madagascar, Estudo de Caso nº 5) (22), e os resultados ainda não foram publicados. Estudos de NA em escalas maiores (por exemplo, 1.000 a 5.000 ha) seriam muito valiosos para instruir iniciativas futuras.

Na ausência de dados de campo, a orientação prática para adaptar a NA a escalas maiores inclui:

- 1. Dentro de uma área maior (como uma paisagem) determine quais áreas são mais adequadas para a NA e onde outras técnicas podem ser mais apropriadas.** Consulte a seção 4 abaixo.
- 2. A NA pode ser estrategicamente situada/combinação com outras formas de restauração para atender a diferentes metas sociais e requisitos legais de restauração.** Utilizar esta técnica em algumas áreas e uma restauração mais intensiva e/ou orientada para a subsistência em outras pode ajudar a cooptar apoio para a restauração em geral. Por exemplo, usando a NA para restaurar áreas de bacias hidrográficas e áreas florestais/plantações/sistemas agroflorestais dentro e ao redor de terras agrícolas.
- 3. A configuração e/ou o tamanho das ilhas de árvores podem ser modificados em áreas maiores,** dependendo das metas do projeto, cronogramas, condições do terreno, escolha de espécies e tipo de floresta. (Vide seção 6 abaixo).

**Exemplo de projeto de NA implementado em 2019 por Laura Toro e Fundacion Natura. 42 hexágonos foram estabelecidos em uma pastagem de 7 ha anteriormente utilizada na agricultura e pastagem, por mais de 50 anos. Os hexágonos mediam 35 m de diâmetro e tinham um espaçamento de 15 m. Em um total de 271 árvores, 11 espécies diferentes foram plantadas, espaçadas em 1 m. As fotos foram tiradas durante e logo após o plantio. Crédito da fotografia: Fundacion Natura e Laura Toro.**



**A**



**B**



**C**

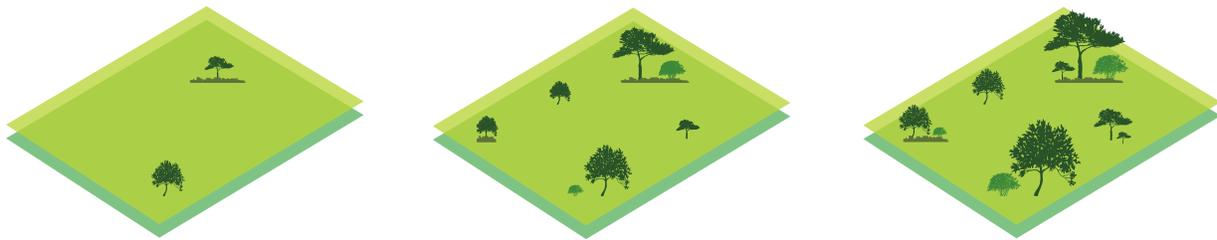


SEÇÃO 3:

## **QUANDO E ONDE A NUCLEAÇÃO APLICADA DEVE SER UTILIZADA (EM COMPARAÇÃO COM OUTRAS TÉCNICAS?)**

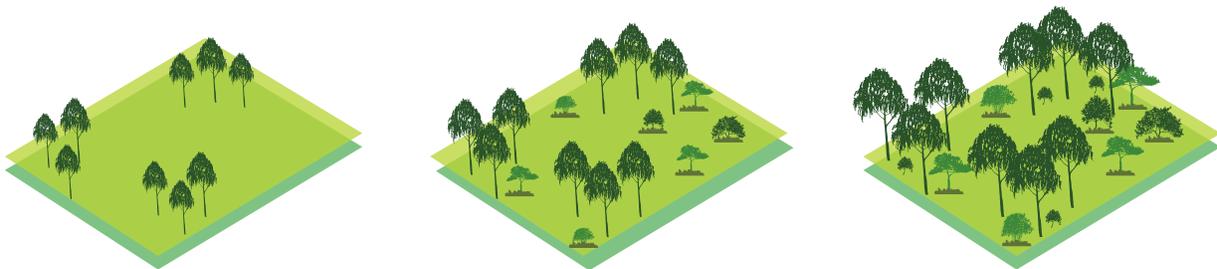
A nucleação aplicada é mais eficaz onde as florestas podem se regenerar naturalmente até certo ponto, mas a regeneração é lenta (Fig. 2, Fig. 11). O uso da terra no passado, a proximidade das florestas existentes ou das árvores solitárias e o tamanho das manchas de floresta remanescente afetam a regeneração e, portanto, o potencial da NA (17, 21, 59, 60). A nucleação aplicada funciona criando 1) áreas nas quais os dispersores de sementes podem encontrar refúgio e se deslocar de uma ilha para outra, e 2) condições favoráveis para o estabelecimento das sementes (14) (Fig. 3). As áreas que carecem desses núcleos (árvores remanescentes ou manchas) poderiam se beneficiar particularmente da NA (22).

## REGENERAÇÃO NATURAL



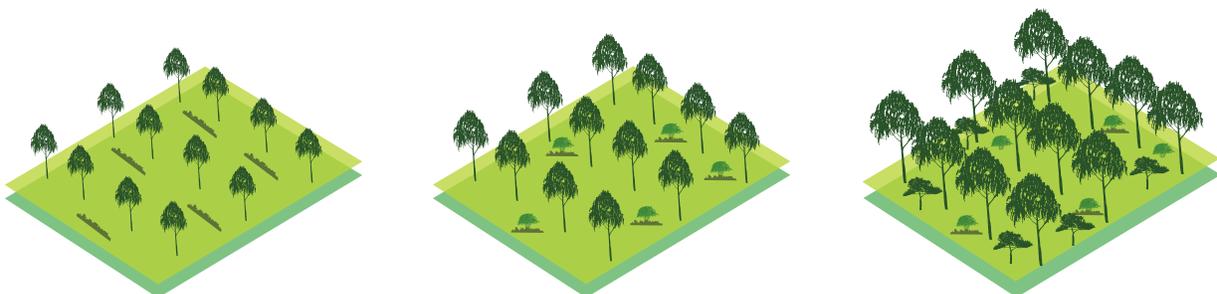
→ → **Custa pouco, mas os resultados variam** → →

## NUCLEAÇÃO APLICADA



→ → **Custa menos e se desenvolve de forma mais consistente floresta adentro** → →

## PLANTAÇÃO



→ → **Cara, mas se desenvolve de forma consistente floresta adentro** → →

**Figura 11:** O processo e os resultados da regeneração natural, nucleação aplicada e do plantio convencional ao longo do tempo (adaptado de (14)). Por uma questão de simplicidade, apenas um tipo de árvore é ilustrado como sendo plantado, e todas as outras espécies apresentam colonização natural. Na realidade, o ideal seria que tanto os núcleos das árvores quanto as plantações incluíssem múltiplas espécies.

Terrenos distantes das florestas nos quais a terra seja mais degradada/lenta para se recuperar naturalmente podem exigir o plantio de árvores mais intensivo, enquanto em áreas nas quais as florestas podem se regenerar bem sem assistência, a regeneração natural pode ser suficiente para a recuperação da floresta (Fig. 11). Esta seção oferece uma diretriz para a avaliação se a nucleação aplicada pode ser uma boa escolha com base nas condições locais do terreno (Fig. 13).

**1. A nucleação aplicada é compatível com as necessidades e metas dos proprietários locais.** A NA pode ser uma boa opção quando as metas de restauração visarem restaurar a cobertura florestal nativa, bem como a proteção de bacias hidrográficas ou do solo. Quando os proprietários exigirem colheitas para

renda/alimentação das áreas reflorestadas, o plantio mais intenso de árvores valiosas e/ou a instalação de sistemas agroflorestais podem ser melhores opções. Caso contrário, esses sistemas podem ser combinados com a NA na escala da paisagem. O plantio de enriquecimento em áreas de NA ou RN também pode ser utilizado para integrar espécies valiosas.

**2. As florestas em regeneração são valorizadas/culturalmente aceitas.** As áreas florestais em regeneração são muitas vistas como abandonadas ou não utilizadas, o que pode levar a problemas com direitos de uso e reivindicações de posse (52) (ver seção 2 acima). A nucleação aplicada pode constituir uma escolha mais apropriada quando for culturalmente mais provável de ser aceita

Condições do terreno	Estratégias recomendadas em determinadas condições		
	RN	NA	Plantações
Recuperação de espécies florestais quando o terreno tiver sido deixado em pousio por 1 a 2 anos	Recuperação rápida	Alguma recuperação, mas lenta/impedida	Pouca/nenhuma recuperação
Presença de dispersores de sementes	Presentes/provavelmente presentes	Presentes/provavelmente presentes	Não estão presentes/muito poucos
Fontes de sementes (remanescentes de florestas, árvores de pastagens) presentes na paisagem	Árvores e/ou remanescentes de florestas nas proximidades	Árvores e/ou remanescentes de florestas nas proximidades	Nenhum ou poucos remanescente de florestas ou árvores presentes
Presença de espécies supressoras de árvores, por exemplo, espécies competitivas e amantes do sol, como grama de pastagem	Poucas/menos densas	Abundantes a moderadas	Abundantes a moderadas
Uso do solo passado; ciclos de queima.	Terrenos com uso leve a moderado, sem ciclos de queima ou com ciclos não longos	Terrenos de uso moderado; alguns com queima aceitável	Terrenos altamente utilizados com queima recorrente
Metas do projeto e outras considerações			
Constituem renda para os proprietários	Geração de renda não essencial	Geração de renda como objetivo secundário/não essencial	Geração de renda importante
Compatibilidade com outras metas dos proprietários	Restaurar a cobertura florestal nativa	Restaurar a cobertura florestal nativa, bacia hidrográfica ou proteção do solo. Potencial para espécies valiosas serem plantadas em quantidades menores	Colheita de alimentos ou extração madeira possível por meio das plantações ou sistemas agroflorestais
Área a ser plantada, financiamento disponível	Recursos por área unitária mínimos	Recursos por área unitária limitados	Recursos relativamente altos por área a ser restaurada

**Figura 12:** Quando usar a NA em comparação com outras técnicas comuns, com base nas condições do terreno e nas metas do projeto.

ou, por outro lado, quando existirem recursos e potencial para locais de treinamento ou demonstração, educação e/ou mudança de política. O diálogo com as organizações locais é necessário para entender como os proprietários de terras veem e utilizam a floresta em regeneração. Grandes áreas protegidas com financiamento limitado e nas quais a população local não precise extrair ganhos com a terra podem ser candidatas particularmente interessantes (por exemplo, terras degradadas que foram recentemente adicionadas a uma reserva ou parque nacional; e/ou nas quais o financiamento para restaurar grandes áreas for limitado (22)). Confira na seção 2 acima as ferramentas e diretrizes para entender os meios de subsistência e uso da terra e as necessidades, metas e percepções dos proprietários de terras.

### 3. A recuperação da floresta pode ocorrer, mas, via de regra, é lenta ou atrasada.

Se o local já tiver muitas mudas de árvores nativas, isso constitui um bom indício de que a regeneração natural pode ocorrer. Caso contrário, considere conduzir os passos a seguir:

**A. Teste o potencial de regeneração natural, permitindo que a terra se recupere por 1,5 a 2 anos.** O volume recuperado após 1,5 anos é um bom preditor de recuperação futura (33). Se as espécies florestais começarem a retornar após um período de pousio de 1 a 2 anos, o terreno pode ser um bom candidato para RN ou NA.

**i. Para avaliar se um terreno está se recuperando bem, a % de cobertura de grama, % de cobertura de dossel e a densidade de mudas de árvores devem ser medidas.** Por exemplo, a cobertura do dossel de > 10% e a cobertura de gramíneas de < 70% após 1,5 anos foram associados com uma maior recuperação oito anos depois na Costa Rica. A outros sistemas, diferentes proporções podem ser indicadas, e o tipo de grama também pode ter um impacto. Para obter diretrizes adicionais, consulte (33) (e também a seção abaixo sobre “tratamento do terreno”).

**B. Quando não for possível esperar de 1 a 2 anos, considere a intensidade do uso da terra no passado e a paisagem circundante para avaliar o potencial de regeneração.**

**i. Intensidade do uso da terra no passado:** As áreas que tiverem sido desmatadas por períodos mais longos; tiverem sido limpas com recorrência; nas quais os solos estiverem degradados/erodidos; e nas quais queimadas tiverem sido utilizadas com frequência para derrubar florestas são menos propensas a se recuperar naturalmente, menos propensas a ter um banco de sementes robusto e podem exigir métodos mais intensivos.

- **Histórico de queimadas recorrentes:**

*A terra foi submetida a queimadas recorrentes (por exemplo, ao longo de vários ciclos de pousio?) → em caso afirmativo, a recuperação da floresta pode ser impedida devido à falta de banco de sementes e outros propágulos (61-63). As queimadas florestais frequentes também podem dificultar a restauração de um local com NA, porque a vegetação entre as ilhas pode ser altamente inflamável (mais do que as florestas) (64).*

- **Condições de solo pobres:** Os solos foram severamente erodidos ou compactados? → em caso afirmativo,

*o estabelecimento de mudas naturais será muito limitada até que os solos se recuperem, e o plantio convencional de espécies tolerantes a tais solos, fixadores de nitrogênio e/ou o enriquecimento do solo com composto antes do plantio pode(m) ser necessário(s) para uma restauração eficaz.*

- **Muito tempo desde a última limpeza:**

*Quando o terreno foi limpo? → Durações mais longas de uso antropogênico da terra são muitas vezes associadas a uma recuperação mais pobre (61), uma vez que os solos se tornam menos férteis com o uso contínuo e o banco de sementes diminui com o tempo.*

- **Espécies invasivas:** *Espécies tolerantes à sombra altamente invasivas (em particular, as árvores invasoras) no terreno podem significar que a nucleação aplicada não funcionará, em especial se preencherem todo o espaço intersticial entre as ilhas (14). O domínio de espécies invasoras (por exemplo, no Havaí) pode impedir a expansão da NA e limitar a eficácia.*

ii. **Florestas/árvores remanescentes estão presentes na paisagem agrícola.** A floresta remanescente pode servir como importante fonte de sementes e habitat para dispersores de sementes, assim como árvores remanescentes intercaladas na paisagem agrícola.

iii. **Existem dispersores de sementes, que são capazes de utilizar as ilhas.**

Ter dispersores de sementes abundantes em um terreno é favorável para a NA. Mas os dispersores de sementes nem sempre são fáceis de observar, então esta etapa não deve ser usada para descartar a NA.

- *Ferramentas e diretrizes para avaliar a presença de dispersores de sementes: a presença de dispersores de sementes pode ser avaliada rapidamente em campo por meio da observação direta da visitação de animais selvagens nos terrenos, incluindo contagens (contagens de pontos ou contagens cronometradas da região) e armadilhas fotográficas. As observações da vida selvagem não requerem muita assistência, mas requerem conhecimento de potenciais espécies dispersoras - o envolvimento com as comunidades locais e naturalistas seria útil. Para interpretar os resultados das observações da vida selvagem:*
  - Se pássaros menores, onívoros ou frugívoros estiverem presentes, é provável que espécies pioneiras de sementes pequenas estejam sendo dispersadas. (Lugares nos quais você não esperaria vê-los incluem vastas plantações de monoculturas, ou ilhas nas quais eles estiverem em

grande parte ausentes (como a ilha de Guam, por exemplo, (65)).

- Se grandes pássaros frugívoros (por exemplo, tucanos, calaus) ou mamíferos (por exemplo, macacos, lêmures, raposas-voadoras) estiverem presentes, eles podem servir para dispersar espécies de plantas com sementes maiores encontradas na área (66, 67).
- Observe que alguns animais dispersores de sementes podem ser imperceptíveis, como é o caso do morcego-nariz-de-folha (68).

4. **A vegetação circundante é predominantemente de espécies nativas.** Como a floresta em regeneração depende da dispersão de sementes das árvores próximas, a qualidade da floresta ou das árvores próximas também importa. Embora a cobertura florestal possa aumentar com uma variedade de diferentes níveis de cobertura florestal/arbórea, a composição de espécies da floresta em regeneração será fortemente afetada pela floresta existente na paisagem (Zahawi, dados não publicados/em andamento). A nucleação aplicada é uma estratégia inadequada em locais nos quais as sementes que estiverem sendo dispersas forem principalmente de espécies invasoras.

5. **Outros agentes estressores - herbivoria, incêndios florestais etc. - que podem destruir a vegetação em regeneração podem ser gerenciados.** Em geral, o reflorestamento secundário é eliminado dentro de anos a décadas após o início da regeneração (55, 69). Para que a nucleação aplicada ou qualquer estratégia de restauração florestal seja eficaz, as ameaças à floresta em regeneração (especialmente quando jovem) precisam ser gerenciadas/eliminadas (17).

## FERRAMENTAS E RECURSOS

- [Rules of Thumb for Predicting Tropical Forest Recovery](#). Holl et al., *Applied Vegetation Science*, 21(4), 2018.
- Confira também as ferramentas e recursos sobre o envolvimento das partes interessadas da seção 2.



SEÇÃO 4:

# TAMANHO, FORMATO, ESPAÇAMENTO E CONFIGURAÇÃO DAS ILHAS DE ÁRVORES

## TAMANHO E ESPAÇAMENTO DA ILHA

Para um determinada iniciativa de plantio, os profissionais devem plantar um número menor de ilhas maiores ou um número maior de ilhas menores? Existe um dilema entre o tamanho das ilhas e a distância entre ilhas para a mesma iniciativa de plantio. Ilhas maiores e mais próximas tendem a ter um desempenho melhor e aumentar a velocidade de recuperação até certo ponto, mas o tamanho da ilha e o espaçamento entre as ilhas também dependem das metas, cronogramas e orçamento do projeto. No que diz respeito aos resultados da Costa Rica e Honduras, nos quais as ilhas foram separadas por ~ 8-20 m (CR) e 12 m (Honduras), ambos mostram bons resultados, mas a recuperação foi mais lenta quando os núcleos foram espaçados com distâncias maiores. Dado que poucos estudos avaliam diretamente a distância ideal entre as ilhas, um espaçamento padrão pode ser de 8 a 12 m com base em estudos anteriores, mas são necessários mais experimentos.

## QUAL É O TAMANHO DE ILHA DE ÁRVORES IDEAL?

As ilhas de árvores devem ser grandes o suficiente para atrair pássaros e outros dispersores de sementes (70) e sombrear as gramas de pastagem. O tamanho ideal depende do contexto local e do tipo de floresta. Na Costa Rica e em Honduras, ilhas menores (28 e 50 m<sup>2</sup>) tenderam a ter mais grama no sub-bosque (45, 59), e foram mais afetadas pela morte de uma única árvore plantada (em particular a central, deixando o núcleo de uma ilha pequena remanescente). As ilhas maiores (64 e 144 m<sup>2</sup> de área plantada) tiveram mais visitas de pássaros, mais sementes dispersas por animais e facilitaram mais o recrutamento de árvores do que as ilhas menores (22, 59, 60, 70, 71), tendo, neste sentido, um tamanho mínimo de 64 m<sup>2</sup> sido recomendado (22, 59). No entanto, os casos apresentados no final deste manual demonstraram que a NA também aumentou a recuperação florestal em relação à regeneração natural quanto utilizou ilhas circulares de apenas 2 m de diâmetro (3,14 m<sup>2</sup>) no Brasil (estudo de caso 4) e 6 m de diâmetro (28,3 m<sup>2</sup>) na floresta nublada de alta altitude da Colômbia (estudo de caso 3) (em ambos os casos, as árvores foram plantadas muito densamente dentro das ilhas, separadas por 0,5 e 1,1 m, respectivamente). Pesquisas adicionais são necessárias para determinar o tamanho mínimo em outros tipos de floresta, como no caso da floresta tropical seca.

Essencialmente, acima de um limite mínimo, o tamanho máximo da ilha **irá depender, em larga medida, dos recursos do projeto, do tipo de floresta e da área total a ser restaurada**. Ilhas maiores cobrem um terreno maior e podem oferecer um habitat um pouco melhor – mas também exigem mais recursos. Equilibrar a área total coberta, o espaçamento entre as ilhas e o tamanho de cada ilha é uma consideração fundamental.

## QUANTA ÁREA DEVE SER PLANTADA E COMO AS ILHAS DEVEM SER ESPAÇADAS? CONSIDERE ESTES FATORES:

1. **Avalie o grau de perturbação/degradação no terreno.** Terrenos mais perturbados e degradados exigirão o plantio mais intensivo das árvores, o que pode significar um menor espaçamento entre as ilhas.

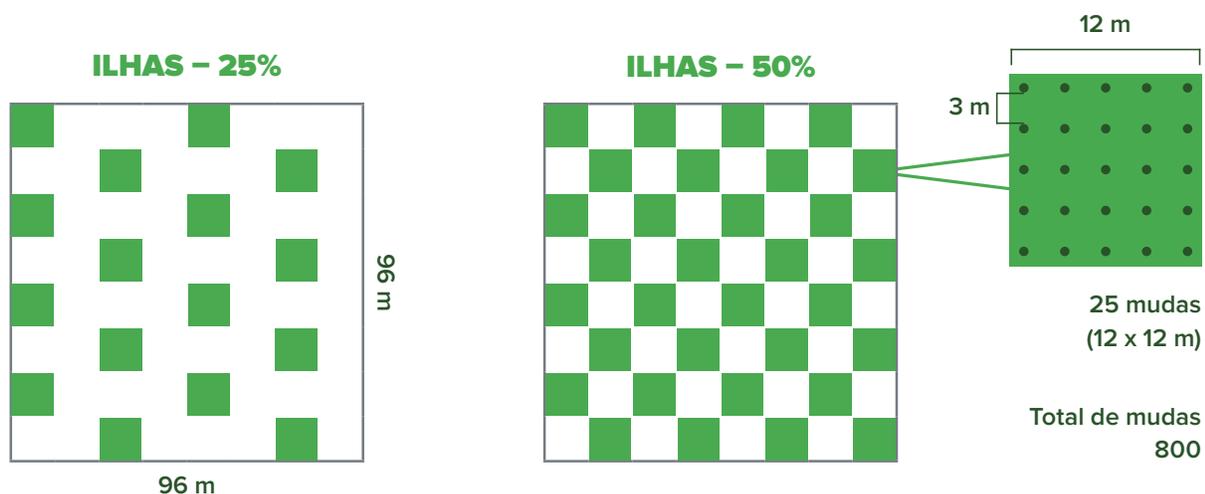
2. **Estime a taxa de crescimento do dossel.** Ilhas plantadas com árvores que desenvolvem largos dosséis rapidamente podem significar que as ilhas podem ser mais espaçadas; em caso de crescimento mais lento, mais próximas.
3. **Considere os recursos disponíveis para o plantio de árvores.** Plantar uma porcentagem maior de um terreno de restauração com ilhas irá provavelmente resultar em uma recuperação mais rápida, mas um plantio maior de árvores aumentará o custo do projeto. Em certa medida, a vantagem relativa da NA sobre o plantio convencional de árvores será perdida se o plantio de árvores se tornar muito intensivo.

## QUE FORMATO DE ILHA É MAIS ADEQUADO EM UM DADO CONTEXTO?

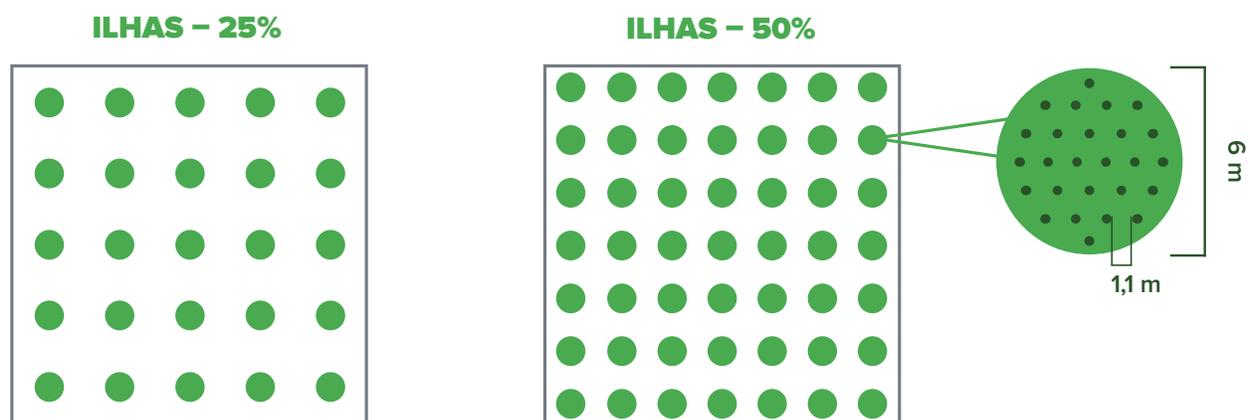
O uso de quadrados ou círculos são mais comuns (Fig. 13). Os círculos proporcionam a melhor proporção entre borda e interior da floresta, mas as bordas podem ser mais difíceis de localizar e manter (por exemplo, mudas plantadas podem ser derrubadas por engano). Outras formatos também podem ser adotados, desde que criem um habitat sombreado dentro das ilhas. Por exemplo, as faixas são mais fáceis de plantar e manter porque há menos posições de canto para localizar em vegetação secundária densa, e muitas práticas florestais tradicionais usam essa configuração. No Brasil, as árvores foram plantadas em faixas, e observações após três anos sugerem que a recuperação da floresta é semelhante em áreas plantadas com ilhas e faixas, mas que as faixas foram muito mais fáceis de instalar (exemplo de caso 6).

## QUAL É A PROXIMIDADE PARA O PLANTIO DAS ÁRVORES NAS ILHAS?

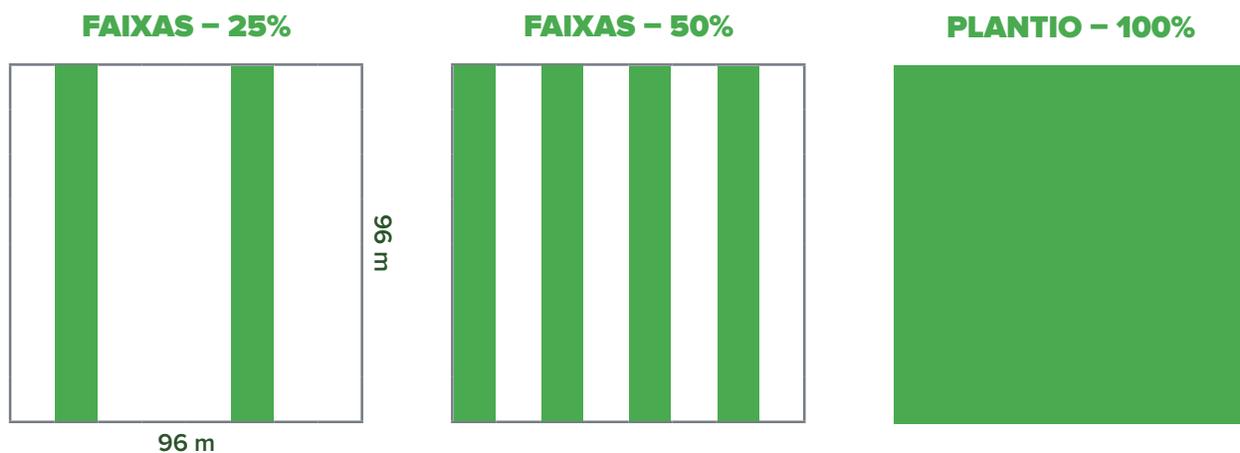
A resposta depende, em grande medida, nas metas do projeto, recursos disponíveis e nas taxas de crescimento das espécies utilizadas (72, 73). A plantação convencional para a restauração tem demonstrado bons resultados quando recorre a um amplo espaçamento (com frequência, de 1 a 4 m). Um estudo que teste a regeneração natural no contexto das árvores plantadas descobriu que árvores plantadas com menor espaçamento (2 x 2 m) acarretaram uma maior diversidade de mudas em



Plantio de baixa densidade com 25%, 200 mudas foram plantadas e, com 50% 400 mudas foram plantadas



Plantio de alta densidade com 25%, 525 mudas foram plantadas e, com 50%, 1029 mudas foram plantadas



**Figura 13:** Exemplos de projetos alternativos para nucleação aplicada. Observe que nesta figura os quadrados oferecem um exemplo de plantio de “baixa densidade” (árvores mais espaçadas dentro de cada ilha) e os círculos um exemplo de plantio de “alta densidade”. Os quadrados, círculos e faixas são representados nos exemplos de casos neste manual (casos de quadrados de 1 e 5; casos de círculo 2, 3 e 4; e tanto quadrados quanto faixas no caso 6).

regeneração do que árvores mais espaçadas (3 x 3 m), mas a abundância de indivíduos foi semelhante (74). Plantações mistas no espaçamento de 3 x 3 m para restaurar a vegetação nativa no Cerrado brasileiro foram bem-sucedidas em termos de crescimento, em particular no que diz respeito ao acúmulo de biomassa e estoque de carbono.

As vantagens do espaçamento mais amplo (> 2 m, em geral de 3 m) são que 1) utiliza menos recursos do projeto, pois menos árvores são plantadas em cada ilha, 2) pode promover um crescimento mais alto das árvores, um bom atributo se algumas árvores forem ser extraídas; e 3) produz árvores com diâmetro de tronco mais largo (75–77). Os espaçamentos mais próximos (menos de 2 m) são utilizados para incentivar a competição e a diversidade florestal (73). Essa prática também é adotada no caso de microflorestas urbanas para criar densos estratos multicamadas (78). As vantagens do espaçamento mais próximo incluem 1) fechar o dossel dentro das ilhas com maior rapidez; 2) potencialmente criando condições florestais mais “naturais” desde o início; 3) produzir mais biomassa com maior rapidez (1,5 - 2m) (79, 80); e 4) reduzir o espaço disponível para espécies invasoras.

Uma das principais vantagens da NA sobre o plantio tradicional de árvores é que ele necessita de menos recursos. Como o número de árvores nas ilhas corresponde à distância quadrada entre as árvores, o número total de árvores necessárias aumenta rapidamente quando o espaçamento é reduzido. Em Madagascar e na Colômbia, bons resultados foram obtidos com um espaçamento de 1 m, e em Madagascar, estão em andamento ensaios de ilhas “baratas” (plantio de baixa densidade) versus ilhas “densas” (plantio de maior densidade) (estudo de caso 5). Um caso na Colômbia testou explicitamente a densidade de plantio (0,9 vs. 1,1 m) e constatou um crescimento mais rápido das árvores em espaçamentos menos densos, o que também reduziu os gastos do projeto em cerca de 30% (estudo de caso 2). No Brasil, o plantio de árvores a 0,5 m de distância em pequenas ilhas também produziu bons resultados (estudo de caso 4), e na Costa Rica também foram obtidos bons resultados com árvores espaçadas a 3 m (estudo de caso 1). Espécies

de crescimento mais rápido com dosséis maiores significam que as florestas podem se tornar mais densas mais rapidamente, tornando o espaçamento mais apropriado.



**A**

Vista aérea das plantações.



**B**

Captura de drone das fileiras de *Eucalyptus* intercaladas com fileiras de espécies nativas



**C**

Espécies de árvores nativas plantadas após o eucalipto ter sido extraído para fins de subsistência. A previsão é que as espécies nativas irão se regenerar naturalmente na área explorada

Um exemplo do escalonamento de plantios em faixas de espécies nativas mistas e eucaliptos em mais de 77 ha no Brasil, plantados em fileiras para facilitar o plantio, manutenção e extração. Crédito da fotografia: Pedro Brancalion. Confira também o exemplo de caso 6.



## COMO TRABALHAR COM OS RECURSOS DA PAISAGEM

Para uma determinada iniciativa de plantio (por exemplo, 20%) em que local da paisagem as árvores devem ser plantadas? As árvores podem ser estrategicamente plantadas de forma a oferecer múltiplos benefícios na paisagem. Algumas considerações gerais incluem:

- 1. Plante ilhas em áreas nas quais houver uma regeneração natural menor.** Alocar maior esforço de plantio em áreas mais degradadas 1) visa locais nas quais a regeneração natural é menos provável e 2) estabelece ilhas de árvores que podem acelerar a regeneração natural no restante do terreno.
- 2. Plante ilhas em áreas que protejam recursos importantes.** Por exemplo, favorecer ilhas ao longo de áreas ribeirinhas para minimizar a erosão, ou ao longo da fronteira de uma propriedade para fazer o uso da terra parecer mais intencional (ver seção 2).
- 3. Plante ilhas para criar conectividade** (ou seja, entre dois fragmentos florestais), de modo a aprimorar os processos da paisagem.
- 4. Escolha o posicionamento das espécies com base no contexto da paisagem.** Por exemplo, se houver uma região com a maior incidência de vento do lote e as

espécies plantadas forem dispersas pelo vento, plante-as lá (81). Se uma espécie for dispersa pela água, a disponha mais próximo da água, ou se depender de dispersores da fauna, plante onde houver fezes ou outros sinais de dispersores.

## BOAS PRÁTICAS DE PLANTIO DE ÁRVORES SÃO ESSENCIAIS PARA BONS RESULTADOS (10, 23)

As parcelas de nucleação aplicada requerem técnicas eficazes de plantio de árvores para aumentar a sobrevivência e o crescimento, incluindo o tempo de plantio com os ciclos de precipitação locais para evitar uma necessidade de irrigação dispendiosa. As melhores práticas de plantio de árvores estão fora do escopo dessas diretrizes, mas há diversos recursos à disposição:

- [Restoring Tropical Forests: A practical guide](#). Elliott et al., *Royal Botanic Gardens, Kew*, 2013.
- [Implementing Forest Landscape Restoration: A practitioner's guide](#). Stanturf et al., *IUFRO: International Union of Forest Research Organizations*, 2017.
- [Guidelines for the Restoration, Management and Rehabilitation of Degraded and Secondary Tropical Forests](#). ITTO: *International Tropical Timber Organisation*, 2002.



SEÇÃO 5:

# SELEÇÃO DE ESPÉCIES E MATERIAIS DE PLANTAS

Há poucos estudos comparativos relativos à escolha de espécies em diferentes tratamentos. A presente seção oferece princípios pragmáticos baseados na experiência de campo para a escolha de árvores e outras espécies de plantas (Fig. 14). Todas as espécies selecionadas devem ser adequadas às condições do terreno, incluindo faixa de altitude, precipitação, sazonalidade, tipo e aspecto do solo, contexto em que a restauração ocorrerá.

## CONSIDERAÇÕES ECOLÓGICAS

### 1. Escolha combinações de espécies que incluam:

A. **Pelo menos uma espécie de crescimento rápido** capaz de se estabelecer ao ar livre, com um dossel espalhado (a propagação via ramificação é uma maneira importante de a NA fechar o dossel). As espécies que crescem rapidamente e depois morrem (por exemplo *Inga edulis*, do caso 1), deixando espaço para espécies sucessionais intermediárias/tardias, são especialmente úteis (22). Garibello (exemplo de caso 3) descobriu, ainda, que na floresta de baixa altitude da Colômbia, os núcleos plantados com árvores de jangadeiro (*Heliocarpus americanus*) ou Fabaceae (*Inga marginata*, *Inga* sp. e *Erythrina poeppigiana*) mostraram-se mais eficazes na facilitação da sobrevivência de árvores em extinção do que os núcleos formados por arvoretas que tipicamente colonizam campos antigos (*Miconia* sp., *Piper aduncum*, *Vismia baccifera*).

B. **Algumas espécies de crescimento médio e lento** (sucessional intermediário), em particular espécies que provavelmente não colonizam os terrenos por conta própria, como espécies dispersas por gravidade ou espécies com sementes grandes dispersas por animais. Espécies de sementes grandes, sucessivas tardias, tendem a estar ausentes ou demoram a retornar às parcelas restauradas sem assistência adicional (22, 46, 82, 83). Elas também podem ser introduzidas por meio de plantio de enriquecimento na fase de manutenção do projeto (Seção 7 abaixo).

C. Quando os critérios acima forem atendidos, considere também a escolha de espécies que:

i. Sejam fáceis de produzir em viveiros locais e/ou cresçam bem a partir de mudas (os viveiros podem constituir um sério fator limitante em projetos de restauração tropical);

ii. Tenham uma alta taxa de renovação: as partes (folhas, ramos, galhos e raízes, etc.) são frequentemente soltas e rebrotadas, o que cria matéria orgânica e melhora os solos.

iii. Tenham alta capacidade de brotar rápida e repetidamente após danos físicos (corte parcial e/ou queima).

2. **Inclua árvores frutíferas para espécies dispersas por animais:** As árvores plantadas atraem animais fornecendo comida, abrigo contra predadores, áreas de nidificação e sombra (84). As árvores frutíferas podem aumentar a visita da fauna, a dispersão de sementes e o recrutamento de plântulas em comparação com as árvores dispersas pelo vento (85). As árvores produtoras de frutas comidas por uma grande variedade de animais dispersores de sementes podem atrair mais dispersores (86). Os figos (*Ficus* spp.) são recomendados para plantações quando forem nativos, porque são amplamente distribuídos e seus frutos são consumidos por uma grande variedade de animais (87-89).
3. **Utilize espécies nativas quando possível, e evite escolher espécies que compitam com espécies arbóreas nativas e impeçam o seu estabelecimento.** Selecione espécies nativas quando possível, pois essas espécies provavelmente permanecerão no ecossistema e evite espécies especialmente competitivas ou supressoras de árvores (22, 90). Por exemplo, as plantações de teca em pastagens da Costa Rica suprimem o crescimento das árvores em comparação com a regeneração natural, sem o plantio de árvores (91).
4. **Inclua espécies fixadoras de nitrogênio em terrenos nos quais a infertilidade do solo limita a regeneração de árvores nativas.** Diversos estudos tem encontrado bons resultados com o uso de árvores fixadoras de nitrogênio, que em geral crescem rapidamente e aumentam a disponibilidade de nitrogênio (por exemplo, família Fabaceae; *Inga* spp. e *Erythrina poeppigiana*) (92) (exemplo de caso 3).

5. **Considere projetos de ilhas “resistentes ao fogo” para áreas propensas a queimadas frequentes (além de aceiros).** Teoricamente, as árvores resistentes ao fogo plantadas em fronteiras podem proteger espécies mais sensíveis ao fogo no interior. As espécies a serem utilizadas e as dimensões das “camadas resistentes ao fogo” necessárias serão altamente dependentes do contexto, e ainda não há evidências experimentais conclusivas que as comprovem. É uma área importante para pesquisa contínua (confira o exemplo de caso 5).
6. **Selecione espécies não arbóreas, conforme isto se adéque aos diferentes contextos.** Os arbustos podem ser espécies adequadas em um mix de espécies de NA ao lado das árvores, e as ervas também podem ser importantes ao possibilitarem um complemento completo de espécies em alguns contextos.

## CONSIDERAÇÕES SOCIOECONÔMICAS

7. **Integre o conhecimento indígena e local e envolva a população local no processo de seleção de espécies.** A população local pode ser capaz de identificar espécies que atendem à metas/critérios sociais e ecológicos relativamente à NA, em particular em locais com histórico de uso florestal/sistemas agroflorestais (93). A população local esteve envolvida na seleção de espécies em vários casos apresentados no presente manual (exemplos de caso 2, 3, 4 e 5, no Brasil, Colômbia e Madagascar).
8. **Considere plantar com espécies que atendam a objetivos sociais/econômicos/ecológicos específicos.** Supondo que os requisitos ecológicos mínimos sejam atendidos, as espécies podem ser escolhidas por seu valor econômico ou cultural, ou potencial de sequestro de carbono.

Característica	Descrição e Fundamentação
<b>Taxas de crescimento</b>	Rápido ganho de biomassa para armazenamento de carbono; rapidamente formando o dossel das árvores para sombrear a vegetação sucessional precoce que demande luz; Espécies de plantas com taxas de crescimento variadas, algumas se estabelecem rapidamente e outras vivem mais
<b>Forma de crescimento - por exemplo, erva, arbusto, árvore</b>	As formas de crescimento selecionadas afetarão a estrutura e a diversidade da vegetação
<b>Tolerância de solos com baixo teor de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio</b>	Capaz de crescer e melhorar as condições do solo em terrenos degradados
<b>Tolerância a condições climáticas estressantes e dinâmicas</b>	Tolerante a condições variáveis de temperatura e umidade, que possibilita o estabelecimento em terrenos degradados e sobrevive em um clima sujeito a mudanças
<b>Traços que atraem a fauna</b>	Frutos que atraem fauna dispersora de sementes, fontes de néctar ou espécies que fornecem estrutura de habitat para a fauna
<b>Preocupação com a conservação</b>	Espécies raras e o foco das iniciativas de conservação
<b>Probabilidade de estabelecimento natural</b>	Espécies de plantas que provavelmente não colonizam naturalmente para aumentar a diversidade
<b>Viável para extrair e propagar/ disponível em viveiros locais</b>	Aumenta a relação custo-benefício e a facilidade de restauração
<b>Desejabilidade como madeira, produtos florestais não madeireiros ou outras razões econômicas ou culturais</b>	Fornecer renda, alimentos ou outros produtos, o que incentiva ainda mais os proprietários de terras a plantarem e manterem a vegetação

Figura 14: Características potenciais a serem consideradas na seleção de espécies de plantas para restauração (Modificado de (4)).

## FERRAMENTAS E RECURSOS

- [Plant Functional Traits and Species Selection in Tropical Forest Restoration.](#) Lachlan C. S., *Tropical Conservation Science*, 11(1), 2020.
- [Agroforestry Tree Domestication: A primer.](#) Dawson et al., *ICRAF: The World Agroforestry Centre*, 2012
- [Restoring Ecosystem Services Tool \(REST\): A computer program for selecting species for restoration projects using a functional-trait approach.](#) Rayome et al., *USDA: United States Department of Agriculture*, 2019.
- [Preparing to Plant Tropical Trees.](#) Longman, K. A., *Commonwealth Secretariat*, 1995.
- [Tree Species Planted for the Atlantic](#)
- [Forest Restoration: A floristic and functional analysis \(Espécies arbóreas plantadas na restauração da Mata Atlântica\).](#) Almeida et al., *LASPEF-UFSCar: Laboratório de Silvicultura e Pesquisas Florestais*, 2020. (Em português, as tabelas têm legendas em inglês).
- [Primer for Ecological Restoration.](#) Holl, K., *Island Press*, 2020.



© ATELOPUS - STOCK.ADOBE.COM



SEÇÃO 6:

# MANUTENÇÃO PARA A NUCLEAÇÃO APLICADA

Em geral, a nucleação aplicada requer a manutenção das árvores plantadas e estabelecidas naturalmente. A manutenção deve respaldar as metas do projeto, ser incluída nos orçamentos e estar alinhada com o monitoramento para permitir intervenções adaptativas (1, 94). A nucleação aplicada visa restaurar a cobertura do dossel com espécies florestais nativas; no mínimo, a manutenção em sistemas de NA deve facilitar a regeneração da floresta nativa, mas a quantidade de manutenção depende das metas do projeto e das condições do terreno (1, 57). Esta seção descreve as principais atividades de manutenção para sistemas de NA. Os recursos que servem de diretriz sobre a manutenção de áreas com plantio de árvores e assistidas por RN são aplicáveis à NA, conforme indicados no final deste capítulo.

**1. Certifique-se de que a área esteja protegida** de estressores que possam danificar as florestas em regeneração, como as queimadas, pastagens, herbivoria e a remoção de árvores para extração (a menos que a extração de árvores selecionadas faça parte da estratégia). A proteção do terreno é essencial para garantir o sucesso a longo prazo. Manter cercas, aceiros e fazer cumprir as regras locais de uso da terra são atividades importantes. Em alguns lugares, a predação de roedores também pode afetar a regeneração (como foi observado em um projeto da GEF-CI nos Andes, também em (95)). A proteção contra as pastagens (por exemplo, a manutenção de cercas) é particularmente importante na NA, uma vez que a vegetação que cresce entre as manchas de árvores é muitas vezes palatável para o gado, em particular durante a estação seca, quando a forragem pode ser escassa em outros lugares (52). A proteção contra as queimadas também é fundamental - a vegetação entre as ilhas pode ser mais inflamável ao seu redor, levando a danos aumentados às árvores em seu perímetro (exemplo de caso 5, Madagascar). As atividades de manutenção podem ser adaptadas a diferentes ambientes e contextos: por exemplo, podem ser utilizados aceiros “verdes” de vegetação inflamável plantada, que exigem menos manutenção do que aceiros de solo nu (96).

**2. Incentive o crescimento de árvores plantadas e em regeneração** dentro e entre as ilhas de árvores. Nas áreas nas quais as árvores parecerem estar se regenerando bem, a proteção da terra pode ser suficiente. Quando plantas altamente competitivas e amantes do sol - como as gramíneas de pastagem plantada - estiverem presentes, limpezas periódicas antes e depois do plantio entre as ilhas e em seu interior podem ser necessárias até que as mudas plantadas e em regeneração estejam estabelecidas. A duração da manutenção depende das taxas de crescimento das árvores e da vegetação no terreno, mas, em muitas limpezas mecânicas em contextos tropicais, (por exemplo, com facão ou outro

instrumento de corte - evite usar o fogo e produtos químicos, pois podem danificar as árvores em regeneração), de 2 a 4 vezes por ano por 2 a 3 anos é comum (1, 58, 92). Depois que a cobertura do dossel estiver estabelecida, a limpeza não será mais necessária porque as ilhas em expansão obscurecem outras vegetações. (Como observado acima, espécies tolerantes à sombra altamente invasivas - em particular espécies arbóreas - podem significar que a nucleação aplicada não funcionará, pois não serão sombreadas por ilhas em expansão (14)).

O processo geral de limpeza entre ilhas inclui: 1) identificar as árvores em regeneração que devem ser protegidas, 2) limpar a vegetação ao redor das mudas em regeneração e 3) aplicar fertilizantes quando/ se necessário (1, 57). Limpar a vegetação ao redor das mudas plantadas pode ser árduo, em especial quando as árvores forem pequenas. A marcação cuidadosa das fronteiras da plantação de árvores nas ilhas pode ajudar a evitar o corte acidental de mudas de árvores plantadas.

**3. Proteja os dispersores de sementes** da caça e de outras ameaças. Os dispersores de sementes são fundamentais para auxiliar no processo de regeneração natural. Esse processo pode envolver o trabalho com as comunidades locais para limitar a caça (1). Pode também envolver manter gatos ou cães fora dos terrenos de restauração.

**4. Replante árvores nas ilhas** se um número substancial de árvores morrer. Uma certa porcentagem de mortalidade de árvores e replantio deve ser incluída no orçamento do projeto.

**5. Controle os insetos** que danificam as árvores plantadas e/ou em regeneração (como formigas cortadeiras), se necessário.

**6. Regar ou fertilizar** pode ser necessário para aumentar a sobrevivência e o crescimento inicial das árvores plantadas em áreas nas quais existir escassez de água ou a qualidade do solo for baixa.

**7. Pratique o plantio de enriquecimento em terrenos de regeneração para atender às metas ecológicas e sociais.** Tanto nos

plantios convencionais quanto na NA, as espécies de sementes grandes de sucessão tardia tendem a figurar em baixo número ou estar ausentes nas parcelas restauradas (17, 22, 46). Na Costa Rica, um estudo de 15 anos demonstrou que as parcelas de NA e de plantio convencional apresentavam um número maior de recrutadas de árvores de sementes grandes do que as parcelas de regeneração natural, mas densidade muito menor de espécies de sementes grandes do que as florestas de referência mais antigas e próximas (45). Esses resultados mostram que os recursos para manutenção de longo prazo e manejo adaptativo são importantes para determinar se o plantio de enriquecimento é necessário uma vez que o dossel esteja estabelecido (Box 3).

### FERRAMENTAS E RECURSOS

- [Restoring Forest Landscapes through Assisted Natural Regeneration \(ANR\) – A Practical Manual](#). FAO: Food and Agricultural Organization of the United Nations, 2019.
- [Application of Assisted Natural Regeneration to Restore Degraded Tropical Forestlands](#). Shono et al., *Restoration Ecology*, 15(4), 2007. (Fornece orientação detalhada sobre a realização de regeneração natural assistida no campo, incluindo a identificação e o cuidado das árvores em regeneração).

- [A Guide to the Restoration Opportunities Assessment Methodology \(ROAM\): Assessing forest landscape restoration opportunities at the national or sub-national Level](#). IUCN: International Union for Conservation of Nature & WRI: World Resources Institute, 2014.
- [International Principles and Standards for the Practice of Ecological Restoration, Second Edition](#). Gann et al., *SER: Society for Ecological Restoration*, 2019.
- [Guidelines for the Restoration, Management and Rehabilitation of Degraded and Secondary Tropical Forests](#). ITTO: International Tropical Timber Organisation, 2002. (Inclui a manutenção como uma etapa fundamental para práticas de plantio de enriquecimento bem-sucedidas. As atividades de manutenção podem ser adaptadas a diferentes ambientes e contextos (como o uso de aceiros “verdes”, compostos por vegetação inflamável plantada, que exigem menos manutenção do que as opções de solo nu)).

### BOX 3: CARACTERÍSTICAS PARA ESPÉCIES DE ÁRVORES IDEAIS PARA “PLANTIO DE ENRIQUECIMENTO” (MODIFICADO DE (96))

Floração e frutificação regulares; Substanciais amplitudes ecológicas; Tolerância ao estresse hídrico; Espécies de sementes maiores que não se estabelecem naturalmente; Apresentam uma maior taxa de sobrevivência quando plantadas sob um dossel aberto; Espécies ameaçadas ou localmente ameaçadas; Espécies com alto valor cultural

**Se as árvores devem produzir benefícios econômicos diretos (NTFP, madeira), considere também:**

Produzir madeiras de alto valor ou NTFP; Crescimento rápido da altura; Boa forma de caule natural; Livre de pragas e doenças; Diâmetro da coroa baixo

**As espécies não arbóreas também são importantes para a ecologia de muitas florestas. Considere plantar:**

Epífitas: lentas para recolonizar florestas secundárias, mas desempenham uma importante função no fornecimento de alimentos, água e controle climático para organismos que vivem no dossel (28, 97); Arbustos ou arbustos florestais de elevado valor ecológico, econômico ou cultural.



## SEÇÃO 7:

# MONITORAMENTO

O monitoramento da NA é essencial para orientar as intervenções de manejo e avaliar os resultados. Abaixo, incluímos uma diretriz específica para a NA, que apresenta indicadores relevantes para o monitoramento. Muitos recursos descrevem como desenvolver protocolos de monitoramento para regeneração natural (Diretriz geral em 1, 57, 94) e para a restauração florestal/restauração de floresta e paisagem de forma mais ampla (4, 31, 98). Confira, também, as ferramentas e recursos listados no final desta seção.

## Monitoramento Geral e Manejo Adaptativo

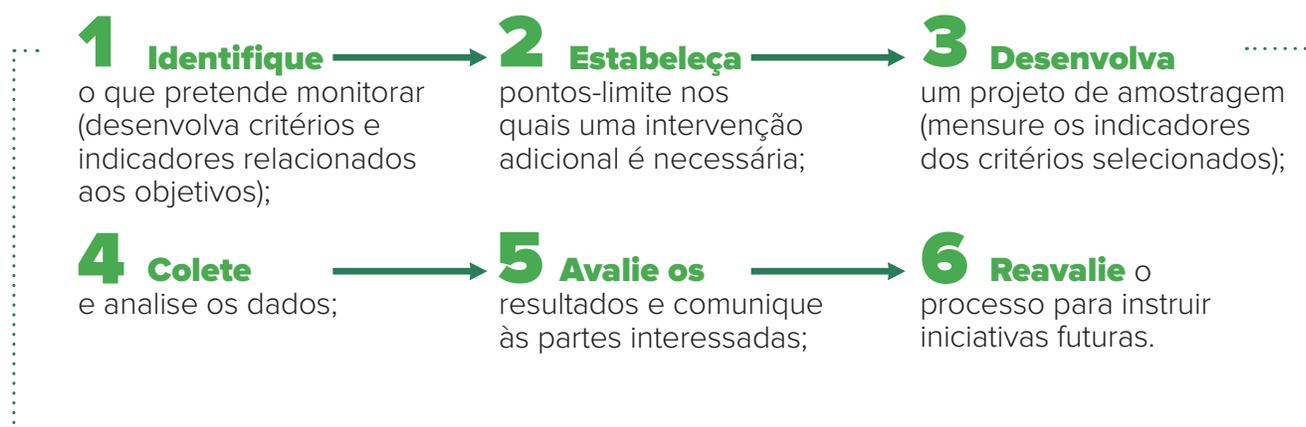


Figura 15: Etapas-chave no monitoramento e manejo adaptativo. (Adaptado de Stanturf et al., 2017 (pg. 67).

### DESENVOLVIMENTO DE UM PLANO DE MONITORAMENTO

Um programa de monitoramento começa nas etapas de planejamento de um projeto quando os objetivos e metas são definidos. Eles devem ser combinados com indicadores apropriados para 1) avaliar se o trabalho evolui em uma direção que atende a alguns ou todas as metas do projeto e 2) capturar atributos adicionais importantes para os resultados do projeto (Figura 1, Figura 15). O processo de estabelecimento de metas e monitoramento deve ser desenvolvido em colaboração com proprietários de terra e/ou comunidade em geral, e deve ser visto como uma forma de envolvê-los estrategicamente durante todo o processo. Na medida em que o monitoramento e a manutenção podem proporcionar treinamento, capacitação e emprego local, podem fortalecer muito o investimento de longo prazo e a sustentabilidade do projeto (98).

### INDICADORES POTENCIAIS PARA PROJETOS DE NA

Os indicadores serão derivados dos critérios/metodologias/objetivos de um projeto de restauração específico. Entre os indicadores que poderiam ser relevantes para os projetos de NA com o objetivo principal de auxiliar e acelerar os processos naturais de sucessão, destacam-se:

- **A sobrevivência e o diâmetro do caule (que pode ser usado para calcular a biomassa) das árvores plantadas.**
- **O número e a identidade da espécie de recrutas recém-estabelecidos no interior e entre as ilhas.** Se forem poucas, intervenções adicionais (como limpeza ao redor de mudas em regeneração ou plantio de árvores adicionais) podem ser necessárias.
- **Percentual de cobertura do dossel** aos 3 anos. Se o dossel não estiver bem estabelecido nesse ponto, devem ser implementadas ações para aumentar a cobertura do dossel e a cobertura deve ser monitorada em intervalos regulares. Um dossel fechado é importante para criar condições que permitirão o estabelecimento de espécies sucessionais tardias.
- **Expansão da ilha de árvores (por exemplo, até que ponto o dossel se expandiu entre as ilhas).** Mesmo que um dossel fechado seja estabelecido dentro da ilha, se as ilhas não estiverem se expandindo, pode ser necessário plantio adicional. A expansão da ilha pode ser mensurada como uma mudança ao longo do tempo na distância até a borda do dossel do tronco de uma árvore plantada na fronteira do plantio.

- **Presença/ausência de espécies vegetais chave.** Quando apropriado, será importante monitorar a presença de espécies que foram identificadas como importantes para fins ecológicos ou sociais. Observe que, se houver espécies-chave que devam ser incluídas, elas devem ser plantadas inicialmente ou por meio de plantio de enriquecimento.
- **A superabundância de espécies daninhas ou invasoras que podem competir com os recrutas.** Este é um indicador negativo; ele sugere que é necessária mais intervenção.
- **As mudas em regeneração são diversas e representativas das espécies encontradas em terrenos de referência.** A comparação de árvores em regeneração com florestas de referência é valiosa tanto para entender como a NA está trabalhando para restaurar a floresta nativa quanto para contribuir com a pesquisa neste campo (consulte a seção 9). Monitorar a proporção de espécies dispersas pelo vento versus animais também é útil para entender se a NA está atraindo com sucesso os dispersores para o terreno.

Se apoiar os meios de subsistência locais é uma meta do projeto, os seguintes indicadores também podem ser aplicados:

- **Produtos florestais não-madeireiros** mensurados como 1) presentes no terreno (colheitas potenciais) e 2) quantidades reais colhidas (colheitas/produções reais).
- **Número de empregos locais criados** e em que período. Isso pode incluir trabalhos relacionados ao planejamento, plantio, monitoramento, manutenção e colheita de terrenos restaurados.
- **Contribuição do projeto para a renda familiar** por meio de salários para o plantio, monitoramento e manutenção e/ou produtos colhidos no terreno.
- **Valor e distribuição (por exemplo, quantas famílias, porcentagem de contribuição para a renda familiar, medida de equidade de distribuição) de quaisquer pagamentos por serviços ambientais**, como água ou sequestro de carbono?

## FERRAMENTAS E RECURSOS

- [Monitoreo a Procesos de Restauración Ecológica Aplicado a Ecosistemas Terrestres](#). Aguilar-Garavito, M., & Ramírez, W. (Eds), *IAvH: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt*. 2015.
- [Implementing Forest Landscape Restoration: A practitioner's guide](#). Stanturf et al., *IUFRO: International Union of Forest Research Organizations*, 2017.
- [Participatory Monitoring in Tropical Forest Management: A review of tools, concepts and lessons learned](#). Evans, K., & Guariguata, M. R., *CIFOR: Center for International Forestry Research*, 2008. (Descreve um processo de monitoramento colaborativo envolvendo comunidades e outras partes interessadas, que pode ser apropriado em áreas com comunidades que estejam utilizando ativamente a terra).
- [International Principles and Standards for the Practice of Ecological Restoration, Second Edition](#). Gann et al., *SER: Society for Ecological Restoration*, 2019. (Contém orientações básicas para um processo de monitoramento e observa que o monitoramento deve começar na fase de planejamento dos projetos e ser orientado por indicadores de sucesso fáceis de mensurar, um processo que será útil ao envolver as partes interessadas).
- [Primer for Ecological Restoration](#). Holl, K., *Island Press*, 2020. (Contém um capítulo descrevendo o processo e as principais considerações para monitoramento e manutenção para restauração ecológica).



SEÇÃO 8:

# APRENDENDO COM A PRÁTICA – CRIANDO “EXPERIMENTOS” EM CAMPO

Apesar de sua promessa e desempenho como técnica de restauração, ainda existem lacunas significativas de pesquisa para instruir a prática da NA. Planejar a implementação e o monitoramento de uma forma que permita a coleta de dados sem comprometer os resultados do projeto seria extremamente valioso para o avanço do campo. A presente seção descreve seis questões principais de pesquisa e diretrizes sobre como utilizar a implementação em campo para examiná-las.

1. **Quais são as melhores combinações de espécies de árvores para usar?** Poucas pesquisas testaram o impacto do uso de diferentes combinações de espécies em ilhas de árvores (confira (85) e o exemplo de caso 3). Trabalhos futuros poderão testar diferentes combinações de espécies com diferentes características funcionais.
  - Qual é o equilíbrio ideal de espécies sucessionais precoces e tardias em ilhas de árvores?
  - Existem benefícios significativos a serem obtidos com a adição de mais espécies?
  - Existe um benefício adicional em incorporar plantas não arbóreas, como arbustos, ervas e epífitas nas plantações de NA?
2. **Qual é a importância de plantar espécies com sementes dispersas por animais para atrair dispersores?** Trabalhos anteriores descobriram que os animais ainda dispersam sementes em parcelas sem espécies que fornecem bons frutos (22), e um efeito mínimo de plantio de árvores dispersas pelo vento versus animais no recrutamento de mudas (99). Mas é lógico que os recursos alimentares aumentariam a eficácia da NA. Mais exemplos e comparações são necessários em diferentes contextos.
3. **Como as diferentes configurações de plantio afetam a regeneração no interior e fora das ilhas de árvores?**
  - Como diferentes formas de ilhas de árvores afetam os resultados ecológicos?
  - Como a recuperação florestal se compara em áreas plantadas com “ilhas de árvores” versus faixas lineares?
  - A distância entre as ilhas de árvores afeta a expansão das ilhas de árvores?
  - A distância entre as árvores plantadas dentro das ilhas afeta a expansão das ilhas de árvores?
  - Qual é o espaçamento e a configuração ideais das ilhas de árvores?
- O espaçamento deve ser igual ou deve haver aglomerados de ilhas de árvores?
- A que distância as ilhas podem ser espaçadas?
4. **Como e qual é a eficiência da NA em uma gama de tipos de florestas tropicais?** (por exemplo, floresta de alta altitude, floresta seca, floresta de mangue)? A maioria das pesquisas sobre NA retratou florestas de encosta ou de baixa altitude (47, 100). As questões sobre espaçamento podem variar em diferentes tipos de floresta ou regiões biogeográficas.
5. **Qual é a eficiência da NA em escalas maiores** (ou seja, idealmente áreas maiores que 5.000 ha)? No entanto, estudos em escala média (>100 ha) também seriam úteis). Atualmente, não há estudos que analisem a eficiência da NA em escalas maiores.
  - Quais condições da paisagem são mais apropriadas para o uso de NA em escala?
  - Qual tamanho de mancha para proporções de espaçamento são melhores para NA em grande escala?
6. **Com que rapidez os núcleos se espalham em diferentes ecossistemas?** Uma possível maneira de avaliar esse aspecto seria valer-se de sobrevoados e imagens de drones para estimar a área do dossel em diferentes anos. Isso será mais útil nos primeiros anos, quando estiver claro o que é e o que não é dossel.

### CONFIGURANDO A AN COMO UM EXPERIMENTO APLICADO

Cada iniciativa de restauração pode servir como um experimento para instruir trabalhos futuros. Muitas vezes os projetos são implementados sem planejamento ou acompanhamento voltados à aprendizagem com a prática. No entanto, como parte de um programa de monitoramento, os projetos podem melhorar sua capacidade de contribuir para o campo com um esforço adicional mínimo. O objetivo deve ser integrado na fase de planejamento.

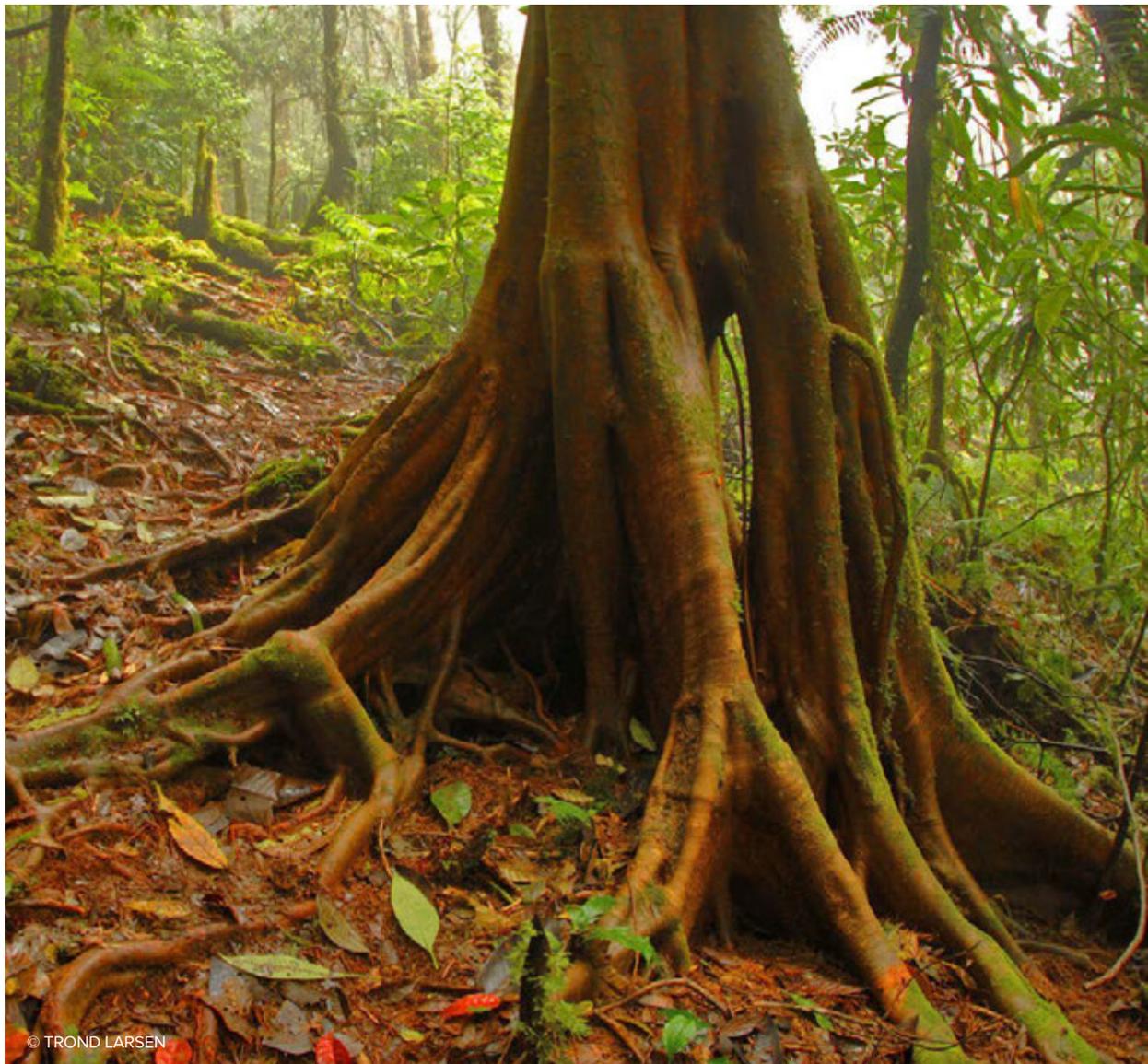
## CONSIDERAÇÕES BÁSICAS PARA CONFIGURAR A NA COMO UM EXPERIMENTO APLICADO:

1. Para entender como a NA funciona em comparação com outros métodos comuns de restauração, **a implementação deve incluir três tratamentos básicos:**
  - A. Um controle de regeneração natural (RN).
  - B. Uma área plantada que utilize plantios convencionais e/ou plantações em faixas. As espécies utilizadas e outros métodos devem ser registrados.

C. Uma área com tratamentos de NA. O projeto deve ser registrado, bem como as espécies utilizadas.

Os custos também devem ser registrados para cada técnica. Observe que a área de cada um não precisa ser a mesma - mesmo pequenas áreas de RN e plantações podem ser usadas para comparação com a NA.

2. **Os tratamentos devem ser aplicados em áreas com características ambientais semelhantes**, na medida do possível, como histórico de uso do solo, distância



© TROND LARSEN

de remanescentes florestais, declividade, aspecto e elevação. Todos esses atributos devem ser registrados, em conjunto com o tipo de floresta, precipitação e outros atributos ecológicos relevantes do terreno. Alternativamente, deve haver replicação suficiente (terrenos) para explicar a variabilidade na paisagem.

**3. Para entender diferentes configurações de ilhas de árvores** (por exemplo, diferentes distâncias entre ilhas) **ou conjuntos de espécies plantadas**

(por exemplo, utilizando diferentes combinações de espécies), as parcelas de NA devem ser divididas em diferentes tipos de NA. Veja também exemplos de casos no final deste manual.

**4. No mínimo, os experimentos ecológicos exigirão monitoramento dos seguintes elementos:**

A. Cobertura do dossel

B. Número e identidade das espécies de árvores em regeneração em cinco anos (e, idealmente, intervalos mais longos, por exemplo, de 10 a 15).

**Idealmente, os experimentos ecológicos devem também:**

C. Identificar regenerantes por mecanismo de dispersão para compreender o efeito da NA nos processos sucessionais. Também pode ser útil classificar o “status sucessional” se a informação estiver disponível.

D. Monitorar outros aspectos da recuperação florestal, principalmente se houver experiência local que possa ser utilizada (por exemplo, levantamentos de pássaros, plantas ou artrópodes).

E. Registrar o custo de implementação e manutenção de tratamentos, incluindo suprimentos, mão de obra e transporte.

**5. Até o momento, os elementos sociais da aplicação da NA não foram sistematicamente examinados.** Seria útil coletar dados sobre:

A. Como esta técnica é percebida pelas comunidades locais,

B. Com que rapidez e em que circunstâncias é adotada (por exemplo, em fazendas privadas),

C. Os desafios específicos para a implementação da NA em diferentes contextos, e

D. Os resultados relativamente aos meios de subsistência e uso da terra.

Registrar o processo de implementação é um passo importante para obter dados sociais. Técnicas de avaliação participativa - importantes para as fases de planejamento em muitos contextos - também podem ser utilizadas para avaliar as condições de referência e mensurar o acompanhamento após a implantação. Mesmo que não seja possível estabelecer projetos com um componente experimental, o monitoramento regular que adote procedimentos padronizados é importante para aprender com os projetos individuais e comparar os projetos.



## SEÇÃO 9:

# RECURSOS

A seguir, destaca-se uma lista das ferramentas e recursos fornecidos nas outras seções deste manual, além de outros recursos gerais.

**RESTAURANDO FLORESTAS PARA MITIGAR AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS. CI: CONSERVATION INTERNATIONAL, A SER DISPONIBILIZADO.**

**[Banco de dados do Projeto Sociedade para Restauração Ecológica \(SER\).](#) SER.**

Este recurso oferece um banco de dados de projetos de restauração em diferentes regiões e ecossistemas e foi concebido como um recurso para possíveis interessados e profissionais. O banco de dados permite a pesquisa ou pode ser filtrado por bioma, região, país, ecossistema ou causa de degradação. Via de regra, as descrições dos projetos incluem uma visão geral, o cronograma, uma definição do problema, o planejamento e a concepção, as atividades e os resultados do projeto, as principais lições, o manejo em longo prazo e o financiamento.

**[Metodologia de Avaliação de Oportunidades de Restauração \(ROAM\).](#) IUCN: *International Union for Conservation of Nature & WRI: World Resources Institute.***

A ROAM fornece uma estrutura, processo e ferramentas para ajudar a identificar áreas prioritárias para restauração em nível nacional ou subnacional e analisá-las para o melhor tipo de intervenção. Para cada tipo de intervenção possível, uma avaliação pode quantificar custos e benefícios, estimar valores de sequestro de carbono, analisar opções de financiamento, determinar a “prontidão de restauração” e abordar políticas ou bloqueios institucionais existentes para melhorar o planejamento e a implementação da restauração.

**Diretrizes para a Restauração de Paisagens Florestais nos Trópicos.** ITTO: *International Tropical Timber Organization, 2020.*

Essas diretrizes, baseadas nas Diretrizes da ITTO de 2002 para a Restauração, Manejo e Reabilitação de Florestas Tropicais Degradadas e Secundárias, oferecem conhecimento técnico e político para aqueles que implementam ou estão interessados em RPF. São apresentados diversos elementos norteadores para estruturar intervenções e ações recomendadas de modo a seguir os seis princípios fundamentais da RPF. Também inclui 18 estudos de caso de restauração de todas as regiões tropicais, e há um resumo da política associada.

**Primer for Ecological Restoration.** Holl, K., *Island Press, 2020.*

Este livro apresenta os conceitos básicos do planejamento, monitoramento e manejo adaptativo de um projeto de restauração ecológica. Ele explica fatores abióticos, como formas de relevo, solo e hidrologia e abrange outros tópicos, como espécies invasoras e considerações legais e financeiras. Outras leituras ou referências recomendadas para cada capítulo, uma lista de estudos de caso e outros recursos de aprendizagem também estão incluídos.

**Implementing Forest Landscape Restoration: A practitioner's guide.** Stanturf et al., *IUFRO: International Union of Forest Research Organizations, 2017.*

Um manual para a abordagem sistemática da RPF, desde a implementação até o monitoramento, principalmente no nível da paisagem, com foco na mitigação e adaptação às mudanças climáticas, apresentado pela IUFRO. Ele oferece orientação prática para profissionais e partes interessadas em um contexto local. Está organizado em módulos que abrangem os “primeiros passos”, como lidar com os desafios de governança, projetar um projeto de restauração, os aspectos técnicos da implementação, o monitoramento e muito mais.

**Sustainable Forest Management (SFM) Toolbox.** FAO: *Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura.*

O SFM Toolbox da FAO constitui um centro de informações para as partes interessadas no manejo florestal sustentável. Inclui uma vasta gama de ferramentas, casos e outros recursos organizados em módulos. Os módulos incluem tópicos técnicos, como agrossilvicultura, restauração florestal e paisagística ou planejamento de manejo florestal, juntamente com módulos não técnicos sobre governança florestal, gestão colaborativa de conflitos e muito mais.

**O Mecanismo da Restauração Florestal e Paisagística.** FAO: *Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura.*

A FAO estabeleceu o Mecanismo de Restauração de Florestal e Paisagística (FLRM) em 2014 para respaldar atividades de planejamento, implementação e monitoramento de RPF nos países como uma contribuição para alcançar o Desafio de Bonn e as Metas de Biodiversidade de Aichi. O FLRM inclui comunidades interativas de prática on-line para facilitar a comunicação e o compartilhamento de conhecimento, uma biblioteca de recursos e oportunidades para fazer cursos.

**Reflorestamento, Viveiros e Recursos Genéticos.** USDA: *Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, Serviço Florestal e Floresta de Extensão Regional do Sul*

Este programa, patrocinado pelo Departamento de Agricultura dos EUA, Serviço Florestal, fornece informações sobre o cultivo de mudas para fins florestais ou de conservação. Sua seção sobre Viveiros Tropicais inclui uma lista de publicações e diversos manuais para orientar o trabalho com plantas tropicais.

Link para os documentos de referência do estudo de caso: <https://docs.google.com/document/d/1sYnH0GUfCjBxpBWNZVCR-TceKU12C8A2eOCVA084-10/edit?usp=sharing>



SEÇÃO 10:

# EXEMPLOS DE CASO

## EXEMPLO DE CASO 1:

Ilhas de árvores em floresta de encosta tropical no sul da Costa Rica. Karen Holl (Universidade da Califórnia, Santa Cruz); Rakan Zahawi (Lyon Arboretum e Escola de Ciências da Vida, Universidade do Havai em Mānoa).

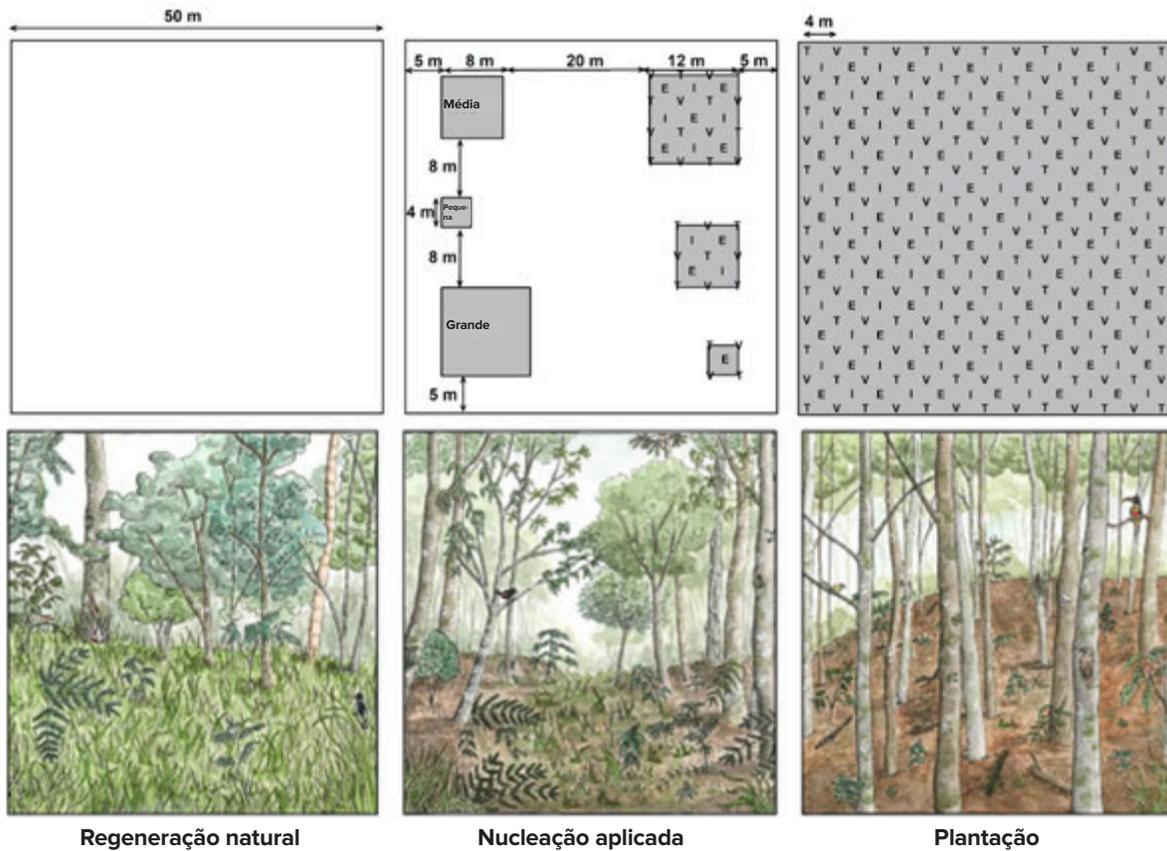
**Contexto:** Este experimento foi iniciado no sul da Costa Rica em 2004-2006 para comparar a eficácia ecológica de longo prazo da nucleação aplicada à regeneração natural e ao plantio de árvores no estilo convencional mais intensivo. O estudo foi criado principalmente como um experimento científico, mas os autores trabalharam com vários proprietários de terras locais, que concordaram em permitir que o experimento fosse estabelecido em suas terras e participaram de vários programas educacionais na região. A região de estudo é representada por uma paisagem predominantemente agrícola, com extensas áreas de pastagem e algumas fazendas de café com fragmentos de floresta remanescentes intercalados. Todos os terrenos utilizados no experimento tinham anteriormente sido utilizados para agricultura, por um período superior a 18 anos (principalmente pastagem de gado ou produção de café), e no momento da implantação estavam cobertos de gramíneas exóticas ou uma mistura de gramíneas, prados e samambaias.

**Projeto e custos da implementação e nucleação aplicada:** O experimento foi conduzido na zona de floresta de encosta do sul da Costa Rica, em terrenos cuja altitude variava de 1100 a 1430 m de altitude, e recebiam de 3500 a 4000 mm de chuva anualmente. Um total de 18 terrenos de 1 hectare foram originalmente estabelecidos, com 12 ainda ativos em 2020. Em cada terreno foram estabelecidas três parcelas de 50 x 50 m, cada uma com um tratamento: nucleação aplicada, plantio de árvores ou regeneração natural sem intervenção (Figura 1). Havia três tamanhos diferentes de ilhas de árvores plantadas dentro de cada parcela de nucleação aplicada (4 x 4, 8 x 8 e 12 x 12 m). Foram plantadas quatro espécies de árvores, duas espécies nativas, *Terminalia amazonia* e *Vochysia guatemalensis*, e duas espécies naturalizadas fixadoras de nitrogênio comumente usado em sistemas consorciados, *Erythrina poeppigiana*

e *Inga edulis* (Holl et al., 2017, 2020). Essas quatro espécies foram selecionadas com base em 1) altas taxas de sobrevivência e crescimento, além de fornecer cobertura substancial de dossel em seus primeiros anos, 2) disponibilidade em viveiros locais e 3) uso comum em sistemas agroflorestais ou outras formas de restauração na América Central (Holl e outros, 2011). As mudas tinham 20 a 30 cm de altura no momento do plantio. No total, foram plantadas 313 mudas em parcelas de plantio, 86 em parcelas em ilhas de árvores e 0 em parcelas de controle. A vegetação foi removida das parcelas antes do plantio e continuamente limpa em intervalos de aproximadamente 3 meses durante os primeiros 2,5 anos, de modo a auxiliar o crescimento das mudas sobre as gramíneas. Holl e Zahawi (2018) estimam os custos de plantio e manutenção para nucleação aplicada em US\$ 357-620 por hectare versus US\$ 1.462 a 2.282 por hectare para plantações convencionais.

Os autores coletaram dados extensivos nos últimos 15 anos sobre a recuperação da vegetação, incluindo a sobrevivência e o crescimento das árvores plantadas; recrutamento, sobrevivência, crescimento e estrutura da vegetação arbórea; e a riqueza de espécies de epífitas. Eles também coletaram dados sobre abundância, riqueza e composição de pássaros, morcegos e insetos de serrapilheira, bem como sobre a dispersão de sementes, herbivoria de insetos em mudas e biomassa e nutrientes da serrapilheira, cujos resultados estão resumidos em Holl et al. (2020)

**Resultados:** Os resultados demonstraram que a nucleação aplicada foi muito mais eficaz do que as parcelas de regeneração natural e obtiveram um resultado semelhante às parcelas de plantio, em termos de cobertura do dossel, recrutamento de espécies e outras métricas importantes (Holl et al., 2020). A regeneração natural teve a menor densidade de grandes sementes de árvores dispersas por animais e recrutas, e as florestas de referência



**Figura 1:** De Holl et al. (2020). Os painéis superiores detalham o projeto original de plantio e os painéis inferiores ilustram as parcelas após 15 anos, mostrando a vegetação plantada e naturalmente recrutada. Nas áreas cinzentas dos painéis superiores foram plantadas *Erythrina poeppigiana* (E), *Inga edulis* (I), *Terminalia amazonia* (T) e *Vochysia guatemalensis* (V). Sm = pequeno; Med = médio. Crédito do artista: Michelle Pastor

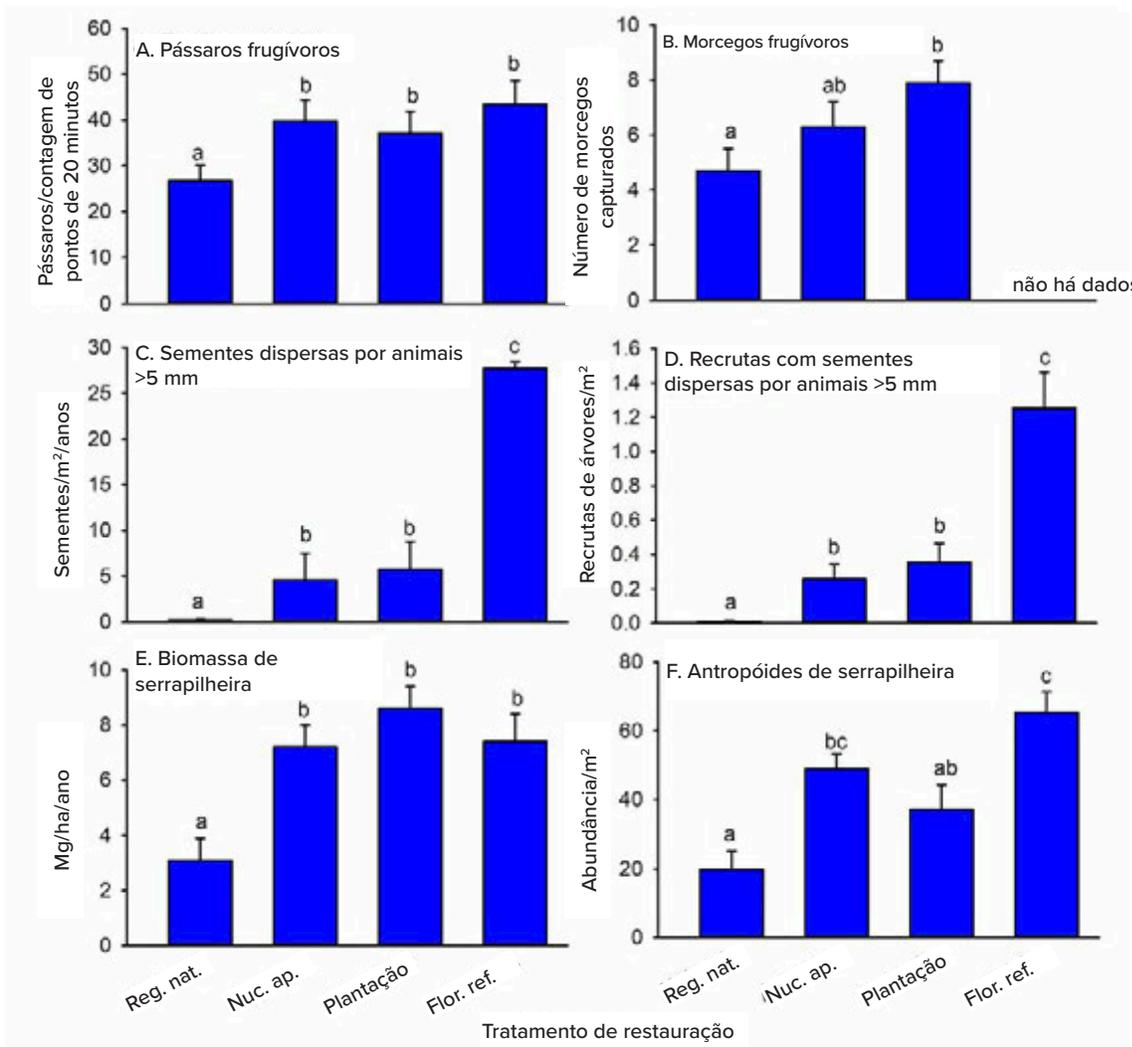


**Figura 2:** Parcela de nucleação aplicada. A vegetação é uma mistura de árvores plantadas e naturalmente recrutadas. Crédito da fotografia: Karen D. Holl

ao redor dos terrenos o mais alto, ao passo que a nucleação aplicada e as plantações estavam em níveis intermediários (veja a Figura 3). Após 15 anos, ainda havia poucas espécies de sucessão tardia encontradas em todas as parcelas de tratamento, mas isso indica em grande parte o processo evolutivo e multidecadal da regeneração da floresta. A abundância de pássaros e morcegos, artrópodes da serapilheira, a riqueza de epífitas, a produção de serapilheira e os insumos dos nutrientes da serapilheira foram todos semelhantes ou equivalentes entre as parcelas de plantações e as de nucleação

aplicadas, e superiores às parcelas de regeneração natural (Figura 3).

Os resultados deste estudo e de Zahawi e Augspurger (2006), que estudaram a nucleação aplicada em florestas tropicais em Honduras, revelam que os núcleos de árvores maiores (64 e 144 m<sup>2</sup> de área plantada) apresentam taxas de visitação de aves muito mais altas, dispersão de sementes dispersas por animais e recrutamento de plântulas do que núcleos menores (4 e 16 m<sup>2</sup>) (Fig. 4A&B). Este resultado provavelmente deveu-se ao maior percentual de cobertura do dossel em núcleos grandes e



**Figura 3:** Modificado de Holl et al. (2020). Respostas de variáveis ecológicas a tratamentos de restauração florestal. (A) Abundância de aves frugívoras; (B) Abundância de morcegos frugívoros (C) Abundância de sementes dispersas por animais > 5 mm (D) Abundância de recrutas com sementes dispersas por animais > 5 mm; (E) Biomassa de serapilheira (F) Artrópodes de serapilheira em 2012. Os valores são  $M \pm 1$  SE. As médias com a mesma letra não diferem significativamente utilizando-se o teste de comparação múltipla de Tukey entre os tratamentos.

médios, o que atrai dispersores de sementes e obscurece gramíneas de pastagem altamente exigentes e altamente competitivas). Apesar de plantar apenas 27% do número de mudas de árvores nas parcelas de nucleação aplicada, a cobertura do dossel > 2 m aumentou substancialmente para  $45,5 \pm 9,0\%$  nessas parcelas, em comparação com  $14,2 \pm 6,1\%$  nas parcelas de regeneração natural e  $78,2 \pm 9,1\%$  nas parcelas de plantação convencional após 7-9 anos.

**Lições aprendidas:** De modo geral, este estudo demonstrou que a nucleação aplicada pode melhorar o recrutamento de árvores e a diversidade de espécies em comparação com a regeneração natural, com resultados ecológicos semelhantes ao plantio de árvores no estilo de plantação, mas a um custo muito menor. A cobertura florestal circundante teve pouco efeito no recrutamento e, em vez disso,

as condições locais do terreno foram consideradas um fator maior, indicando que a nucleação aplicada poderia ser eficaz em diferentes contextos de paisagem (Holl et al. 2017).

Embora ecologicamente eficaz, alguns proprietários de terra perceberam a nucleação aplicada e a regeneração natural como um uso da terra “confuso” e não tão “produtivo” quanto plantar árvores em toda a área. Era preciso estar atento para evitar a entrada de gado, principalmente em parcelas de regeneração natural e nucleação aplicada, onde a grama mais abundante era percebida pelos agricultores como não utilizada. Portanto, a nucleação aplicada é provavelmente mais apropriada em grandes propriedades que são designadas para fins de conservação e exigirão extensas discussões com proprietários de terras para serem utilizadas em paisagens de trabalho.

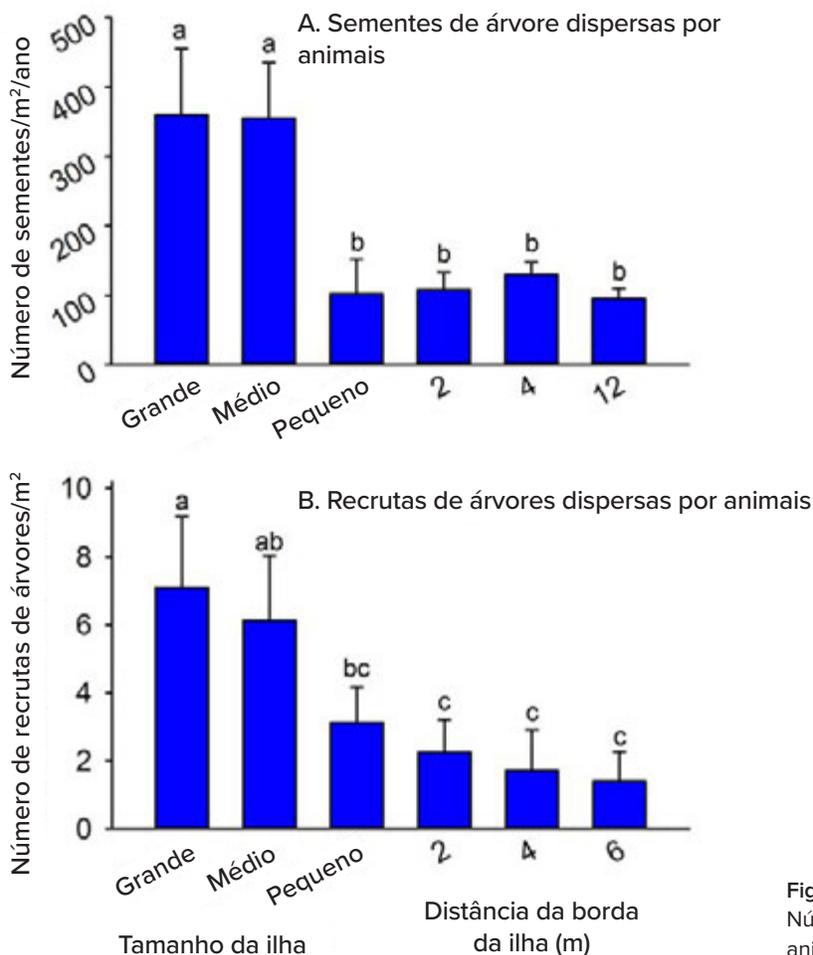


Figura 4: Modificado de Holl et al. (2020). Número de (A) sementes dispersas por animais, (B) recrutas de árvores.

Para mais informações e publicações, acesse [holl-lab.com/tropical-forests.html](http://holl-lab.com/tropical-forests.html) e visualize o vídeo do projeto em [inglês](#) ou [espanhol](#).

### Referências:

Holl, K. D., Zahawi, R. A., Cole, R. J., Ostertag, R., & Cordell, S. (2011). Planting Seedlings in Tree Islands Versus Plantations as a Large-Scale Tropical Forest Restoration Strategy. *Restoration Ecology*, 19(4), 470–479. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2010.00674.x>

Holl, K. D., Reid, J. L., Chaves-Fallas, J. M., Oviedo-Brenes, F., & Zahawi, R. A. (2017). Local tropical forest restoration strategies affect tree recruitment more strongly than does landscape forest cover. *Journal of Applied Ecology*, 54(4), 1091–1099. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12814>

Holl, K. D., & Zahawi, R. A. (2018). Applied nucleation is a straightforward, cost-effective forest restoration approach: Reply to Ramírez-Soto et al. (2018). *Restoration Ecology*, 26(4), 618–619. <https://doi.org/10.1111/rec.12701>

Holl, K. D., Reid, J. L., Cole, R. J., Oviedo-Brenes, F., Rosales, J. A., & Zahawi, R. A. (2020). Applied nucleation facilitates tropical forest recovery: Lessons learned from a 15-year study. *Journal of Applied Ecology*, 57, 2316–2328. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13684>

Reid, L. (2016, Nov. 3). Tree islands for tropical forest restoration: the outlook is rosy after 10 years. *Natural History of Ecological Restoration*. <https://mbgecologicalrestoration.wordpress.com/2016/11/03/tree-islands-for-tropical-forest-restoration-the-outlook-is-rosy-after-10-years/>

Zahawi, R. A., & Augspurger, C. K. (2006). Tropical Forest Restoration: Tree Islands As Recruitment Foci In Degraded Lands Of Honduras. *Ecological Applications*, 16(2), 464–478. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2006\)016\[0464:TFRTIA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2006)016[0464:TFRTIA]2.0.CO;2)

## EXEMPLO DE CASO 2:

Nucleação para avaliar o efeito da densidade de plantio e do tamanho das folhas na regeneração da carqueja (*Ulex Europaeus*) e desempenho do plantio. Iván Rodríguez (Universidade Distrital); Juan Garibello (Instituto Humboldt); Ángela Parrado (Universidade Distrital).

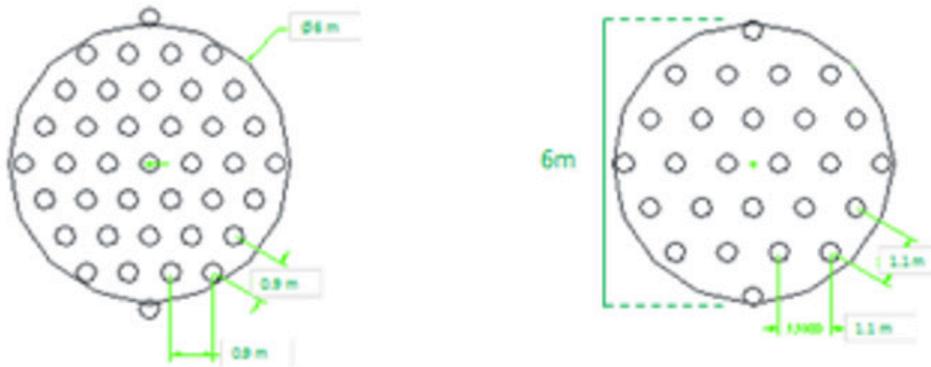
**Contexto:** O experimento foi conduzido nas colinas a leste de Bogotá, Colômbia, a 3200 m.a.s.l., no ecótono entre a floresta nublada de encosta alta e a vegetação arbustiva do baixo Páramo. A precipitação anual é de 1200 mm e os solos são vulcânicos. O terreno é de propriedade do município, mas foi ocupado ilegalmente para produção de batata e gado de 2000 a 2012. Como resultado, houve uma forte invasão de carqueja (*Ulex europaeus*) em mais de 19 Ha. Os objetivos de manejo incluem a eliminação de moitas de carqueja em diferentes estados de desenvolvimento, a mitigação a regeneração da carqueja, a introdução de vegetação nativa que pode competir com a carqueja e a facilitação da participação e o empoderamento dos membros da comunidade local.

**Projeto e custos da implementação e nucleação aplicada:** Nosso experimento foi estabelecido em 2017. Antes disso, a partir de 2012, o governo local periodicamente restaurava o terreno, limpando carquejas e plantando árvores nativas. Utilizou-se a nucleação aplicada com base no seu custo-benefício e no baixo desempenho das árvores previamente plantadas (no padrão tradicional com cinco a dez metros entre indivíduos). A área de estudo cobria 19 ha, e a nucleação

foi aplicada em 5 ha e incluiu 200 “ilhas de árvores” ou núcleos. Cada ilha circular tinha 6 m de diâmetro, com um distanciamento de 6 a 10 m entre as ilhas (Figura 1), e densamente arborizada. Instalamos seis réplicas de cada tratamento com uma combinação de dois fatores: 1) densidade de plantio (1,1 m e 0,9 m de distanciamento) e 2) composição da conjunto de espécies de acordo com o tamanho da folha. A regeneração da carqueja pode ser afetada por plantações densas (Díaz & Vargas, 2009) - por isso, testamos diferentes densidades de plantio: 0,9 e 1,1 m entre as árvores plantadas (Figura 2). A menor densidade utiliza 33% menos árvores e reduz os custos de implantação. Plantamos mudas de árvores nativas fornecidas por viveiros locais administrados pelo governo. Usamos a área ou tamanho foliar – inicialmente avaliado a olho nu – como reflexo das outras características, como tamanho da planta (Pérez-Harguindeguy et al., 2016), que, por sua vez, pode estar associada à capacidade competitiva (Reynolds, 1999). As ilhas foram plantadas com três tratamentos de tamanho foliar: (1) espécies de folhas grandes ( $=36,7$  ; S.E.= 4,7 cm<sup>2</sup>), (2) pequenas espécies com folhas ( $=3,2$  ; S.E.= 0,5 cm<sup>2</sup>) e (3) uma combinação de ambas ( $=22,0$  ; S.E.= 2,6 cm<sup>2</sup>).



**Figura 1:** Vista panorâmica dos núcleos e do terreno de estudo na fronteira entre a área urbana de Bogotá e suas colinas a leste (Foto de Iván Rodríguez em 2018 um ano após o plantio).



**Figura 2:** Diagrama de núcleos plantados. Esquerda. Núcleo de alta densidade (0,9 m entre mudas). Direita. Núcleo de menor densidade (1,1 m entre mudas)

Também estabelecemos parcelas de controle nas quais não ocorreu plantio. Em ambos os terrenos de controle e ilhas de árvores, a carqueja foi removida imediatamente antes do plantio, 15 meses depois e dois anos depois do monitoramento. O custo do estabelecimento de 200 núcleos foi de aproximadamente US\$ 23.000. Esse valor inclui pessoal, propagação e transporte de árvores, mas não monitoramento.

Para implementar seu Programa de Restauração em Bogotá, o governo local contrata uma população vulnerável, que inclui sem-teto, desempregados, afrodescendentes, indígenas e minorias LGBT. Graças a essa abordagem, muitas das pessoas empregadas obtiveram diplomas técnicos em temas ambientais para ascender no Programa e progredir na carreira.

**Resultados: sociais e ecológicos** Mensuramos a regeneração da carqueja, o recrutamento de árvores e o desempenho dos indivíduos plantados. Após análises de dados com modelos lineares, constatamos os seguintes resultados ecológicos, 24 meses após o plantio:

- A NA funcionou para aumentar o recrutamento de árvores: as mudas foram recrutadas sob ilhas de árvores, mas não em áreas de regeneração natural.
- Diferentes tratamentos obtiveram diferentes níveis de recrutamento de árvores e redução da cobertura de grama: Núcleos de alta densidade com espécies de folhas grandes (= 23,7; S.E = 8,4) e núcleos de baixa densidade com combinação de tamanhos de folhas (= 7,2; S.E = 2,9 brotos por núcleo) apresentaram as maiores abundâncias de recrutas de árvores. A cobertura de grama também foi reduzida em 11 a 29% nos núcleos plantados em comparação com a regeneração natural ( $p < 0,0001^2$ ). Os controles de regeneração natural são codominados por gramíneas não nativas *Holcus lanatus* e *Pennisetum clandestinum*.
- As árvores cresceram mais altas em núcleos de menor densidade com espécies de folhas maiores (= 100,8; S.E = 9,6 cm) e foram mais baixas em núcleos densos com espécies de folhas pequenas (= 56,7; S.E = 2,9 cm). As árvores em todos os outros tratamentos foram semelhantes em altura (= 75,6; S.E = 2,7 cm).<sup>3</sup>

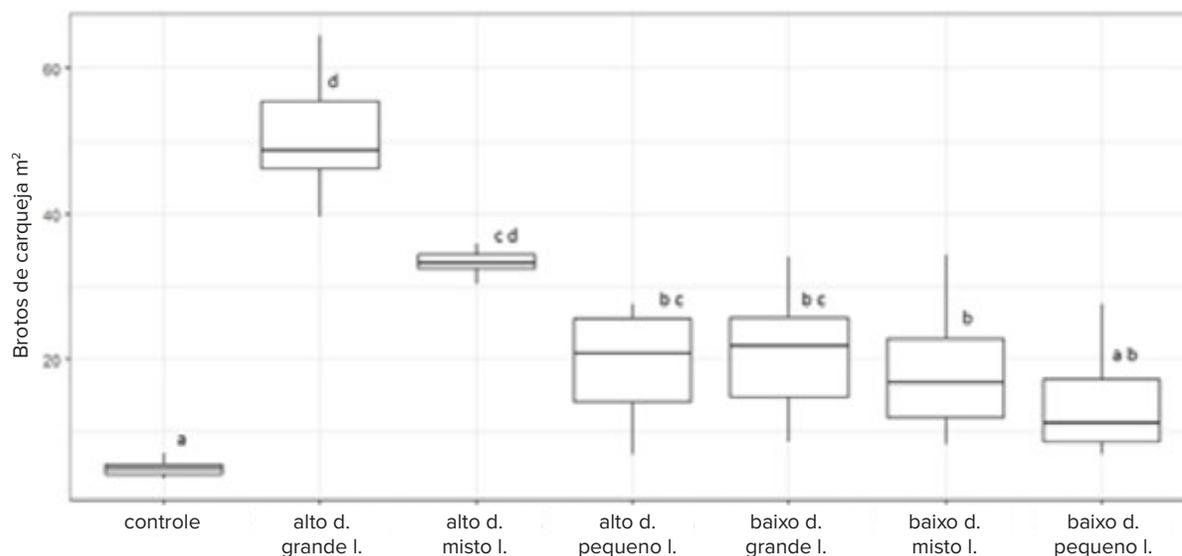
<sup>2</sup> após regressão linear com distribuição binomial de erros

<sup>3</sup> de acordo com comparações pareadas após regressão linear ( $F= ; 7.194 p<0.0001$ ).

- A NA aumentou o recrutamento de carqueja em comparação com controles de regeneração natural, provavelmente porque a remoção de grama e solo perturbador para plantio de árvores criou condições favoráveis para a carqueja.
- Dos tratamentos da NA, os núcleos com menor densidade e as espécies de folhas pequenas apresentam o melhor potencial para manter a regeneração da carqueja em níveis mais baixos (Figura 3).
- A restauração na área de estudo empregou aproximadamente 120 pessoas de minorias vulneráveis desde 2017. Trinta alunos do ensino médio também participaram para desenvolver habilidades de pesquisa e compromisso com questões ambientais (Figura 4), e mais de 20 grupos de membros da comunidade local foram treinados para controlar as carquejas fora da área de estudo e também para detectar e relatar incêndios.

### Desafios e lições aprendidas: Conselhos baseados nestes achados para futuros trabalhos de NA.

- Os núcleos menos densos (densidade de plantio de 1,1 m) são melhores no controle da regeneração da carqueja e apresentam taxas de crescimento de árvores mais rápidas. Os núcleos menos densos também custam ~30% a menos que núcleos mais densos - mas devido aos impactos sociais positivos da iniciativa, recomendamos o plantio de áreas maiores com os mesmos recursos. A regeneração da carqueja foi menor em espécies de folhas pequenas, mas espécies com folhas maiores parecem crescer mais rápido. É necessário monitoramento adicional para determinar se existe um conjunto de espécies ideal.
- Ocasionalmente, foram vistas vacas nos terrenos - é necessário negociar com alguns membros da comunidade local para impedir a entrada de gado.



**Figura 3:** Boxplot de densidade de brotos de carqueja nos núcleos de controle e plantados, dois anos após o plantio; No eixo horizontal "d", representa-se a densidade e, em "l", representa-se as folhas das mudas plantadas; "misto" corresponde à combinação de ambos os tipos de folhas. As letras indicam diferenças após comparações do teste post hoc de Tukey.

- Devido ao impacto social da geração de empregos por meio de seu programa de restauração, o governo de Bogotá La recentemente aumentou o apoio financeiro às agências implementadoras do programa (Gobierno de Bogotá, 2020), mantendo a tendência de aumentos sustentados desde a criação do programa de restauração em 2000 (Murcia et al., 2017).

### Referências:

Díaz, A., & Vargas, O. (2009). Efecto de la siembra de leguminosas herbáceas y arbustivas sobre el control en el establecimiento de la especie invasora *Ulex europaeus* L.(Fabaceae), en los alrededores de Chisacá (localidad de Usme. Bogotá DC). In O. Vargas, O León & A Díaz (Eds.), *Restauración ecológica en zonas invadidas por retamo espinoso y plantaciones forestales de especies exóticas* (pp. 93-130). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

Gobierno de Bogotá (2020). Proyecto de acuerdo no 123 de 2020 segundo debate. [http://www.sdp.gov.co/sites/default/files/edici\\_n\\_3001\\_pa\\_123\\_sd\\_de\\_2020.pdf](http://www.sdp.gov.co/sites/default/files/edici_n_3001_pa_123_sd_de_2020.pdf)

Murcia, C., Guariguata, M. R., Peralvo, M., & Gálmez, V. (2017). *La restauración de bosques andinos tropicales: Avances, desafíos y perspectivas del futuro*. Center for International Forestry Research (CIFOR). <https://doi.org/10.17528/cifor/006524>

Pérez-Harguindeguy, N., Díaz, S., Garnier, E., Lavorel, S., Poorter, H., Jaureguiberry, P., Bret-Harte, M. S., Cornwell, W. K., Craine, J. M., Gurvich, D. E., Urcelay, C., Veneklaas, E. J., Reich, P. B., Poorter, L., Wright, I. J., Ray, P., Enrico, L., Pausas, J. G., Vos, A. C. de, ... Cornelissen, J. H. C. (2016). Corrigendum to: New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 64(8), 715–716. [https://doi.org/10.1071/bt12225\\_co](https://doi.org/10.1071/bt12225_co)

Reynolds, H.L. (1999). Plant interactions: Competition. In: Pugnaire, F.I. & Valladares, F. (Eds.), *Handbook of Functional Plant Ecology* (pp. 649–676). Marcel Dekker, Inc.



**Figura 4:** Alunos do ensino médio plantando núcleos na área de estudo. (Foto de Juan Garibello)

### EXEMPLO DE CASO 3:

Nucleação Aplicada para recuperar populações de espécies madeireiras localmente ameaçadas. Juan Garibello (Instituto Humboldt); Iván Rodríguez (Universidade Distrital); Ignacio Barrera (Universidade Javeriana).

**Introdução e contexto:** A restauração foi realizada na floresta tropical de baixa altitude (1200-1350 msnm) no lado oeste de Serranía de Los Yariguíes, Colômbia, declarada Parque Nacional em 2005. A restauração foi parte de uma compensação corporativa para a construção de uma barragem hidrelétrica na Província de Santander na Colômbia. A precipitação anual é de ~2.500 mm. Toda a região foi muito impactada pelo conflito entre guerrilhas, grupos paramilitares e Forças Oficiais. A terra foi desmatada em 1977 e foi usada para agricultura - pecuária e cultivos de cacau, café, abacate e frutas cítricas - até 2012, quando o Serviço Nacional de Parques comprou a fazenda. De 2012 a 2014, o local foi afetado pela caça furtiva e extração ocasional de madeira.

Restauramos duas áreas diferentes: 1) campos antigos (antigos cercados) e 2) vegetação lenhosa (doravante floresta secundária) em diferentes estágios de recuperação. Juntamente com a comunidade local, estabelecemos dois objetivos principais: 1) Recuperar populações de espécies ameaçadas pela exploração madeireira (nas florestas) e 2) nos antigos campos, e estabelecer uma floresta secundária totalmente funcional até 2025. Comparamos o desempenho de três espécies arbóreas ameaçadas na floresta secundária e em núcleos plantados em campos antigos. Optamos pela nucleação em vez de um padrão de plantação convencional, principalmente porque era uma maneira com maior custo-benefício de competir com gramíneas não nativas por meio da geração rápida de um dossel denso.

**Projeto e custos da implementação e nucleação aplicada:** O projeto foi implantado entre 2014 e 2016, em dois terrenos localizados na mesma bacia hidrográfica. Uma ONG sediada em Bogotá foi responsável pela implementação sob a supervisão do Serviço Nacional de Parques e da

empresa responsável pela compensação. As comunidades locais foram contratadas de acordo com as políticas governamentais para plantio, coleta de sementes e produção de mudas, mas aderiram ao projeto mais cedo para reconstruir o histórico de uso da terra e definir prioridades e estratégias de restauração.

Estabelecemos 48 núcleos em um campo antigo (11 - 13 ha) cercado por floresta secundária e madura. Os núcleos foram círculos de 25 m de diâmetro (área de 491 m<sup>2</sup>), plantados com 567 mudas de 9 a 12 espécies, e colocados a 30 a 40 metros de distância. As árvores plantadas receberam espaçamento de 1 m para criar rapidamente uma cobertura de dossel que poderia competir com gramíneas não nativas *Megathyrsus maximus* e *Brachiaria radicans*. 96% das mudas foram espécies pioneiras; os 4% restantes correspondiam a espécies comumente exploradas que os locais identificaram como ameaçadas de superexploração. As gramíneas foram limpas antes do plantio e uma vez por mês durante três meses após o plantio (Kettenring & Adams, 2011; Gaertner et al., 2012; conselhos de membros da comunidade). Plantamos diferentes espécies em quatro tipos diferentes de núcleos: Tipo 1 - espécies abundantes nas bordas e clareiras da floresta; Tipo 2 - arvoretas que tipicamente colonizavam campos antigos; Tipo 3 - Árvores de Fabaceae comumente encontradas em florestas secundárias; e Tipo 4 - (misto) combinando espécies de todas as demais (Tabela 1). Nas florestas secundárias, as espécies ameaçadas também foram plantadas a 10 m de distância em linhas monoespecíficas. A implementação de todo o projeto custou US\$ 824.440 (cerca de US\$ 2.550/ha) (taxa de câmbio US\$ 1 = 3.748 pesos colombianos; 323 ha; plantio de 102.000 mudas). O monitoramento custou aproximadamente US\$ 51.500.

	Núcleos 1	Núcleos 2	Núcleos 3	Núcleos mistos
Espécies pioneiras	<i>Heliocarpus americanum</i> (tr) <i>Solanum aphyodendrum</i> (tl) <i>Urera bacciferat</i> (tl)	<i>Miconia</i> sp. (tl) <i>Piper aduncum</i> (tl) <i>Vismia bacciferat</i> (tl)	<i>Erythrina poeppigiano</i> (tr) <i>Inga marginata</i> (tr) <i>Inga</i> sp. (tr)	Espécies incluídas em todos os outros núcleos
Espécies-alvo:		<i>Carapa</i> cf. <i>guianensis</i> (tr) <i>Caryodaphnopsis</i> sp. (tr) <i>Margaritaria nobilis</i> (tr) <i>Matisia</i> cf. <i>cordata</i> (tr) <i>Nectandra</i> sp. (tr) <i>Tabebuia rosea</i> (tr)		

**Tabela 1:** Conjuntos de espécies formando diferentes tipos de núcleos na área de estudo. (tr) representa as árvores e (tl) representa as árvores.

### Resultados: sociais e ecológicos:

- 19 a 26 meses após o plantio, os núcleos com dosséis formados principalmente por *Heliocarpus americanus* e núcleos codominados por árvores Fabaceae (*Inga marginata*, *Inga* sp. e *Erythrina poeppigiana*) foram mais eficazes em facilitar a sobrevivência de nossas espécies-alvo em comparação com núcleos formados por arvoretas que comumente colonizam campos antigos (*Miconia* sp., *Piper aduncum*, *Vismia baccifera* entre outros) e núcleos incluindo todas as espécies mencionadas (Tabela 2).
- A sobrevivência das espécies-alvo (*Carapa* cf. *guianensis*, *Margaritaria nobilis* e *Nectandra* sp.) foi semelhante entre os núcleos bem sucedidos e a floresta secundária, mas os núcleos promoveram um crescimento mais rápido (Figura 1).
- O projeto que inclui esses resultados envolveu 121 pessoas das comunidades locais. Sua participação na seleção de espécies de plantas e na concepção das estratégias de restauração foi uma parte fundamental do sucesso do projeto (Figura 2).

### Desafios e lições aprendidas: Conselhos baseados nestes achados para futuros trabalhos de NA.

- Os núcleos de plantio com espécies arbóreas altas e de rápido crescimento funcionaram melhor do que espécies que colonizam campos antigos e promovem a sobrevivência e o crescimento das espécies-alvo.
- O tamanho dos núcleos de 25 m de diâmetro, densidade de plantio de 1 m entre árvores e várias clareiras de espécies invasoras produziram bons resultados.
- As florestas secundárias são adequadas para promover a sobrevivência, mas não o crescimento de nossas espécies-alvo. No entanto, defendemos que esta vegetação também deve ser incluída para recuperar populações deste tipo de espécie, como forma de contribuir para o funcionamento da floresta.

Um vídeo em espanhol descrevendo o projeto encontra-se disponível em [https://youtu.be/k7\\_jvheKXR0](https://youtu.be/k7_jvheKXR0)

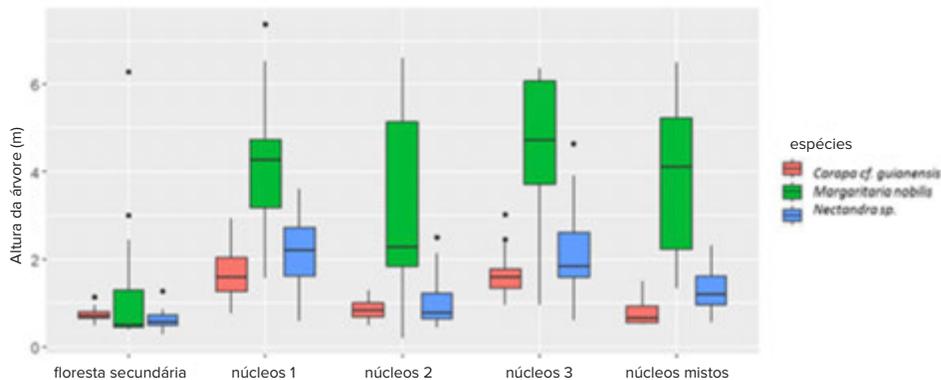
## Referências:

Gaertner, M., Fisher, J., Sharma, G., & Esler, K. (2012). Insights into invasion and restoration ecology: Time to collaborate towards a holistic approach to tackle biological invasions. *NeoBiota*, 12, 57–76. <https://doi.org/10.3897/neobiota.12.2123>

Kettenring, K. M., & Adams, C. R. (2011). Lessons learned from invasive plant control experiments: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*, 48(4), 970–979. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.01979.x>

	Floresta secundária	Núcleos 1	Núcleos 2	Núcleos 3	Núcleos mistos
<i>Carapa cf. guianensis</i>	0,87 (30)	1,00 (20)	0,56 (16)	1,00 (20)	0,40 (20)
<i>Margaritaria nobilis</i>	0,67 (30)	1,00 (20)	0,60 (40)	1,00 (20)	0,48 (40)
<i>Nectandra sp.</i>	0,87 (30)	1,00 (20)	0,45 (40)	1,00 (20)	0,55 (40)
Total	0,80 (90)	1,00 (60)	0,53 (96)*	1,00 (60)	0,49 (100)**

**Tabela 2:** Fração de árvores sobreviventes de espécies localmente ameaçadas em diferentes tipos de vegetação e número de pontos de plantio avaliados (entre parênteses) dois anos após o plantio. \* =  $p < 0,05$  e \*\* =  $p < 0,01$  após regressão linear com distribuição binomial de erros em que a sobrevivência na floresta secundária foi comparada com a sobrevivência em cada tipo de núcleo estabelecido em um campo de 10 ha.



**Figura 1:** Boxplot com a altura de árvores de espécies localmente ameaçadas em floresta secundária e diferentes tipos de núcleos diferenciados por composição. As árvores dos núcleos 1 e 3 são mais altas do que as árvores da floresta secundária de acordo com a regressão linear (valores de  $p < 0,0001$ ) após dois anos de plantio.



**Figura 2:** Membros da comunidade local processando sementes e selecionando espécies para restauração de espécies localmente ameaçadas (Foto de Angélica Cogollo)

## EXEMPLO DE CASO 4:

Nucleação aplicada para restaurar a mata ciliar na fazenda-escola da Universidade do Maranhão, Brasil Guillaume Xavier Rousseau<sup>1</sup> e Danielle Celentano<sup>1,2</sup>

**Contexto:** Este caso descreve as iniciativas de nucleação aplicada empreendidas pela Universidade Estadual do Maranhão, em São Luís. O clima é tropical com verão seco (As) e a cobertura florestal original é constituída por mata ciliar aberta amazônica. No entanto, o Rio Paciência não é perene no local desde a década de 1980. Historicamente, a terra é utilizada para agricultura itinerante, mas foi convertida em agricultura intensiva de 1985 a 2004, que suprimiu a vegetação florestal e degradou o solo. De 2005 a 2012, a terra foi abandonada e a regeneração espontânea da floresta foi intercalada com gramíneas e queimadas acidentalmente a cada dois anos. O estado do Maranhão apresenta um déficit de cobertura florestal de um milhão de Ha de acordo com o código florestal brasileiro (Governo Federal Brasileiro, 2012; Soares et al., 2014) e as matas ciliares estão altamente degradadas, o que leva à degradação do solo e dos rios, e à escassez de água (Silva Junior et al., 2020). A restauração da cobertura florestal na região é vital, mas faltam técnicas adaptadas localmente – em especial técnicas de baixo custo para pequenos agricultores. Este projeto teve como objetivo testar métodos de restauração adaptados à região que também pudessem ser atraentes para pequenos agricultores.

### Projeto da implementação e nucleação

**aplicada:** A nucleação aplicada (NA) foi aplicada em uma área de 0,54 ha, juntamente com as parcelas de tratamento do Sistema Agroflorestal (SAF) e de controle de Regeneração Natural (RN) em um delineamento de blocos completos com seis repetições (total de 18 parcelas, 0,09 cada, 1,6 Ha total) (Fig. 1). O AFS teve como objetivo imitar a sucessão natural com uma mistura de culturas agrícolas anuais e arbustos e árvores perenes de interesse para os agricultores

locais (Celentano et al., 2020), identificados através de trabalho em parcelas de AFS nas fazendas próximas, nas quais pequenos proprietários participaram do projeto de restauração e escolha de espécies. Essa parceria permitiu o compartilhamento de conhecimento e melhorou as iniciativas científicas e dos agricultores.

O terreno apresentava um gradiente heterogêneo de regeneração natural (Fig. 1b), e ilhas de árvores foram colocadas a uma distância regular (20 m) em áreas com baixa e alta regeneração natural. As parcelas de NA foram distribuídas aleatoriamente nos 6 blocos do experimento e consistiram de quatro ilhas de árvores (2 m de diâmetro) com 13 mudas separadas por 0,5 m e dispostas em cruz. *Ceiba pentandra* (*Ceiba*) sempre foi plantada no centro (Fig. 2). Outras espécies plantadas foram: *Handroanthus* sp., *Anacardium occidentale* (Cashew), *Moringa oleifera* (Moringa), *Gustavia augusta* (Jeniparana), *Hancornia speciosa* (Mangaba), *Inga edulis* (Inga), *Schizolobium amazonicum* (Paricá), *Mimosa caesalpiniiifolia* (Sabiá), *Samanea tubulosa* (Bordão de velho), *Talisia esculenta* (Pitomba), *Cajanus cajan* (Guandu), *Bixa orellana* (Urucum) e *Manihot esculentum* (Manihot) foram semeados como sementes ou mudas para proteger as mudas e produzir cobertura morta. As ilhas foram capinadas duas vezes por ano durante três anos após o plantio. As parcelas controle (tratamento de RN) foram mantidas apenas por exclusão de gado e o aceiro mantido em torno de todo o experimento (Fig. 1). Os terrenos de referência de floresta primária não existem mais na Ilha de São Luís e os fragmentos de vegetação antiga existentes não foram inventariados (Serra et al., 2016).

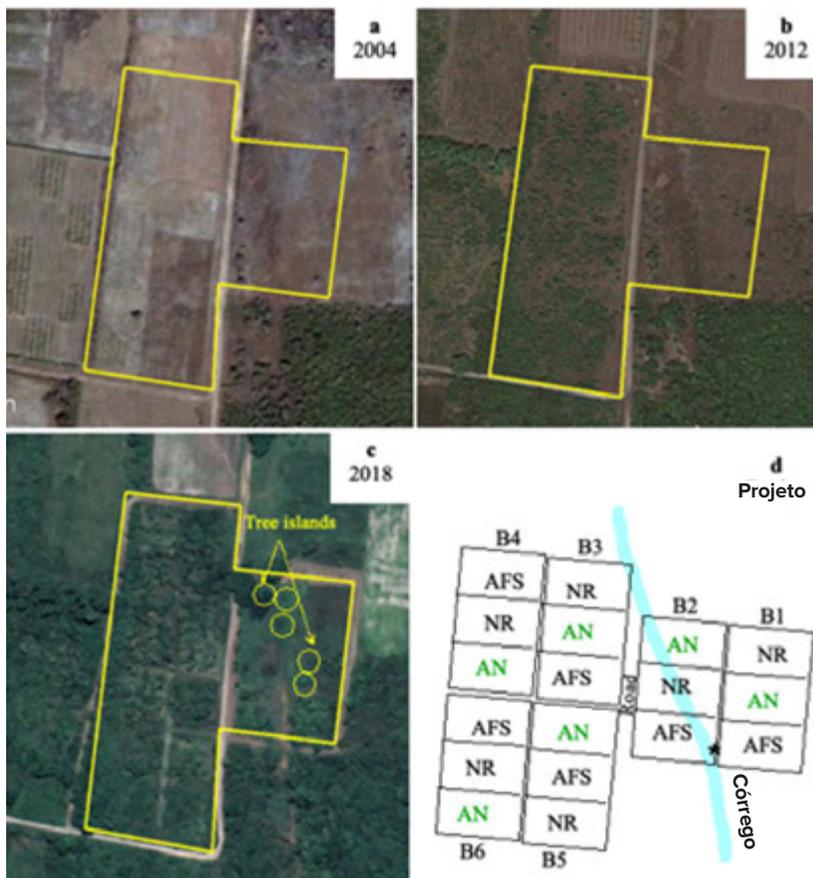
<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Agroecologia (PPGAgroecologia), Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), Av. Lourenço Vieira da Silva, 1000, Jardim São Cristovão, 65055-310, São Luís, MA, Brasil.

<sup>2</sup> Conservação Internacional Brasil

**Resultados sociais e ecológicos:** Apesar de três incêndios acidentais e alta mortalidade de mudas (70%), o experimento foi um “sucesso”: A NA permitiu o rápido restabelecimento da vegetação nativa (Fig. 1 e 2). A NA acumulou 11 ( $\pm 8$ ) t.Ha de carbono na biomassa (2012-2018) e teve maior riqueza de plantas (árvores e arbustos) (média de  $12 \pm 2$  sp. por parcela) do que a RN ( $4 \pm 2$ ) ou AFS ( $8 \pm 3$ ). A nucleação proporcionou tanto a restauração estrutural quanto o enriquecimento de espécies. A NA teve um impacto maior em termos de recuperação florestal em áreas nas quais havia pouca regeneração natural, mas também aumentou a riqueza de espécies em áreas com maior regeneração natural. Os resultados do experimento de restauração atraíram muito interesse recentemente e foram publicados em projetos de graduação, MSc. teses, e um artigo científico (Celentano et al., 2020). O local é visitado regularmente por estudantes, agentes governamentais, agricultores e organizações

da sociedade civil. O principal resultado do projeto é o reaparecimento de uma nascente permanente em 2017 no antigo curso do rio que atravessa a área em restauração.

**Lições aprendidas: Conselhos baseados nestes achados para futuros trabalhos de NA.** A NA serviu para diferentes funções dependendo do grau de regeneração antes da implementação. Onde havia baixa RN inicialmente, as ilhas ajudaram a estabelecer a estrutura e diversidade da vegetação, mas em áreas com mais RN, seu principal efeito foi o enriquecimento. Em iniciativas de restauração em grande escala, a escolha das espécies deve ser ajustada para considerar a heterogeneidade da área a ser restaurada. Um gradiente natural ou manchas irregulares de regeneração natural estão frequentemente presentes, bem como pequenas variações topográficas que afetam o desenvolvimento das mudas.



**Figura 1:** Cobertura do terreno do local experimental: a) 2004 último uso agrícola; b) instalação do experimento 2012; c) último monitoramento de 2018; d) delineamento experimental com localização de córrego e nascente (\*) (Nucleação Aplicada = NA, Sistemas Agroflorestais = SAF, Regeneração Natural = RN).

Considerar as variações espaciais e ajustar a escolha de espécies e desenho de plantio a elas ajudaria a otimizar os resultados, reduzindo assim os custos totais. A Nucleação Aplicada é particularmente bem adaptada para este propósito, pois as ilhas de árvores podem ser facilmente posicionadas e a composição de espécies ajustada.

Controlar o gado e as queimadas constituiu-se nos maiores desafios em geral. Mesmo dentro da Escola, a comunidade não estava a par das medidas de conservação e restauração. Envolver as comunidades vizinhas tanto quanto possível nas primeiras etapas do projeto e instalação do projeto é fundamental. O interesse da comunidade também está diretamente relacionado às evidências no que diz respeito a apoiar o sucesso da restauração - mostrando que os resultados iniciais são importantes, mas reconhecendo que o trabalho continuará a inovar e mudar.

#### Referências:

Governo Federal Brasileiro. (2012). Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012. [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm)

Celentano, D., Rousseau, G. X., Paixão, L. S., Lourenço, F., Cardozo, E. G., Rodrigues, T. O., e Silva, H. R., Medina, J., de Sousa, T. M. C., Rocha, A. E., & de Oliveira Reis, F. (2020). Carbon sequestration and nutrient cycling in agroforestry systems on degraded soils of Eastern Amazon, Brazil. *Agroforestry Systems*, 94(5), 1781–1792. <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00496-4>

Serra, F. C. V., Lima, P. B., Almeida Jr, E. B. de, Serra, F. C. V., Lima, P. B., & Almeida Jr, E. B. de. (2016). Species richness in restinga vegetation on the eastern Maranhão State, Northeastern Brazil. *Acta Amazonica*, 46(3), 271–280. <https://doi.org/10.1590/1809-4392201504704>

Silva Junior, C. H. L., Celentano, D., Rousseau, G. X., de Moura, E. G., Varga, I. van D., Martinez, C., & Martins, M. B. (2020). Amazon forest on the edge of collapse in the Maranhão State, Brazil. *Land Use Policy*, 97, 104806. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104806>

Soares-Filho, B., Rajão, R., Macedo, M., Carneiro, A., Costa, W., Coe, M., Rodrigues, H., & Alencar, A. (2014). Cracking Brazil's Forest Code. *Science*, 344(6182), 363. <https://doi.org/10.1126/science.1246663>



**Figura 2:** Desenvolvimento de ilhas de árvores com diferentes aberturas de dossel: a) dossel aberto 2016; b) dossel semifechado 2016; c) dossel aberto 2018; d) dossel semifechado 2018.

## EXEMPLO DE CASO 5:

Adaptação da nucleação aplicada a ameaça de queimadas no leste de Madagascar J. Leighton Reid (Escola de Ciências Vegetais e Ambientais, Virginia Tech); Donald Matthew Hill (Green Again Restoration, Departamento de Recursos Florestais, Universidade de Minnesota); Jean François Solofoniaina Fidy (Grupo de Fauna e Flora do Parque Ivoloina Madagascar); Lee Frelich (Departamento de Recursos Florestais, Universidade de Minnesota); Rebecca Montgomery (Departamento de Recursos Florestais, Universidade de Minnesota).

**Contexto:** As necessidades de restauração de Madagascar são agudas. Esta ilha tropical é menor que o Texas, mas abriga 5% das espécies conhecidas do mundo, 90% das quais não são encontradas em nenhum outro lugar da Terra. O desmatamento é desenfreado na estreita faixa de floresta tropical no terço leste da ilha. Se o desmatamento continuar no ritmo atual, não haverá floresta tropical fora das áreas protegidas até 2080. Um dos desafios críticos para a restauração florestal em Madagascar é a escassez de recursos. Madagascar está entre os países economicamente mais pobres do mundo. Os gerentes de terras estão interessados em estratégias de restauração, como nucleação aplicada, que podem reduzir os custos do projeto.

Nosso projeto de restauração foi implementado na costa leste de Madagascar, 14 km a noroeste da cidade de Toamasina (-18,051966° lat, 49,350280° lon). Este local está dentro da distribuição histórica da floresta tropical de várzea, que até recentemente cobria a costa leste da ilha. A precipitação anual no aeroporto de Toamasina, localizado nas proximidades, varia de 3,0 a 3,5 m por ano, com as chuvas mais fortes entre fevereiro e abril durante a temporada de ciclones. A temperatura média anual é de 24 °C, com pequenas flutuações sazonais. A topografia regional consiste em colinas repetidas de 100 m com declives de até 50°. Os solos são argilosos ferralíticos intercalados com pedregulhos graníticos.

Nossos objetivos foram: (1) restaurar a floresta nativa em quatro hectares de terra que foram degradados por repetidos incêndios florestais resultantes da tavy – uma forma de agricultura de derrubada e queimada, e (2) estudar a capacidade das árvores nativas de suprimir

a vegetação campestre, particularmente a samambaia *Dicranopteris linearis*. Selecionamos um projeto de nucleação aplicada porque era menos caro e porque era propício para a replicação de parcelas que queríamos para nosso experimento.

### Projeto da implementação e nucleação

**aplicada:** Este projeto foi implementado por uma organização sem fins lucrativos, Green Again Restoration, no terreno privado do coautor Jean François Solofoniaina Fidy, o líder de Ambonivato fokontany (região da pequena aldeia). Jean François procurou a Green Again para restaurar sua terra porque queria dar um exemplo positivo que inspirasse outros aldeões a restaurar suas próprias terras familiares. Isso provou ser uma estratégia eficaz. Existem agora dezenas de projetos de restauração em Ambonivato fokontany.

A população local participou de todos os aspectos do projeto, desde a conceituação até a implementação, monitoramento e interpretação. As sementes foram colhidas de árvores em fazendas locais. A capina e a rega do viveiro foram feitas por equipes de mães solteiras de Ambonivato, enquanto seus filhos estavam na escola. A limpeza da terra e o plantio de árvores foram feitos por homens jovens da aldeia, e as etiquetas de identificação das árvores foram feitas por mulheres locais. As medições e a entrada de dados foram todas feitas por moradores locais. DMH morou em Ambonivato por quatro anos durante este projeto, e seu papel se limitou à educação, verificação de dados e controle de qualidade.

Nosso terreno era um campo de quatro hectares em uma encosta íngreme voltada para o sudeste, variando em altitude de 30 a 70 metros acima do nível do mar. Os aldeões locais prepararam os locais de plantio limpando a vegetação apenas nas áreas onde as árvores deveriam ser plantadas (Fig. 1). A vegetação circundante consistia principalmente de uma samambaia (*Dicranopteris linearis*) e palmeira do viajante (*Ravenala madagascariensis*). Posteriormente, eles plantaram 160 ilhas de árvores quadradas de 16 m<sup>2</sup>. Cada ilha de árvores foi composta por 25 mudas de uma única espécie arbórea plantadas a 1 m de distância em uma grade de 5 x 5. Ao todo, foram plantadas 4.000 árvores. As espécies arbóreas incluíram 11 espécies nativas cujas sementes foram coletadas localmente e propagadas em um viveiro. O custo aproximado de preparação do local e plantio de árvores foi de US\$ 1 por árvore (ou seja, cerca de US\$ 4.000 no total, ou US\$ 1.000 por ha).

**Resultados: sociais e ecológicos:** Nosso projeto foi plantado entre junho e setembro de 2016. Em 14 de outubro, um incêndio florestal varreu o local (Fig. 2). Inspecionamos cada muda e desenvolvemos um índice de intensidade do fogo com base na extensão dos danos às etiquetas plásticas das mudas,



**Figura 1:** Os moradores de Ambonivato estabelecem um plantio de nucleação aplicada em um denso matagal de samambaias. A palmeira do viajante (*Ravenala madagascariensis*) é a planta de folhas grandes na parte de trás à direita. Tanto a samambaia quanto a palmeira são altamente inflamáveis. As posições de plantio são marcadas com estacas de madeira, que mais tarde foram usadas para criar um índice padrão de intensidade do fogo. Foto de D. M. Hill.

postes de madeira e etiquetas de alumínio. Após vários meses, revisitamos o local e inspecionamos cada posição de plantio para procurar evidências de rebrota de mudas.

Das 4.000 árvores plantadas, 379 (9,5%) sobreviveram ao incêndio. A porcentagem de sobrevivência variou entre as espécies de 0% a 18% (Fig. 3). As árvores nos cantos e bordas das plantações de nucleação aplicada foram expostas ao fogo mais intenso, e a sobrevivência foi menor para as árvores plantadas nessas posições. A sobrevivência foi até cinco vezes maior para as árvores plantadas no núcleo da ilha.

Uma das principais lições deste projeto é que os plantios de nucleação aplicada são particularmente vulneráveis a incêndios florestais por causa de sua maior densidade de borda (por exemplo, há mais bordas por área de floresta do que em uma plantação mais contínua). As samambaias *Dicranopteris* e sua palha formavam a matriz entre as ilhas de árvores em nossas plantações. Essa palha era altamente inflamável e, por conta disso, as mudas de árvores plantadas nas bordas das ilhas sofreram maiores danos durante o incêndio do que as mudas de árvores situadas nos núcleos das ilhas.



**Figura 2:** Um incêndio florestal que varreu o local de restauração em outubro de 2016. Ele matou 91,5% das mudas de árvores plantadas e revelou uma vulnerabilidade chave da nucleação aplicada. Foto de D. M. Hill.



## EXEMPLO DE CASO 6:

Comparando três projetos de plantio de árvores para a restauração da Mata Atlântica no Brasil  
Pedro H. S. Brancalion<sup>1</sup> & Karen D. Holl<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ciências Florestais, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, em Piracicaba

<sup>2</sup>Departamento de Estudos Ambientais, Universidade da Califórnia, Santa Cruz, CA 95064, EUA.

**Contexto:** Este exemplo de caso de nucleação consiste em um projeto de pesquisa estabelecido na Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga da Universidade de São Paulo, localizada em Itatinga (SP). A região tem temperatura média anual de 17 °C, verões úmidos e quentes, invernos secos e frios, precipitação anual de ~1.200 mm e déficit hídrico anual de 20 mm. O solo é caracterizado como Latossolo Distrófico Amarelo, com baixo pH e teor de nutrientes, e textura arenosa. A vegetação natural é um ecótono entre florestas estacionais semidecíduas (Mata Atlântica) e florestas de savana (Cerrado), ambos relevantes áreas de tensão para as prioridades globais de conservação. O local de estudo não é protegido legalmente e foi coberto por uma monocultura de eucalipto nos últimos 70 anos. Estabelecemos este experimento para testar a eficácia da nucleação em escalas operacionais e usando faixas (em vez de “ilhas” tradicionais) para distribuir árvores sobre o local de restauração.

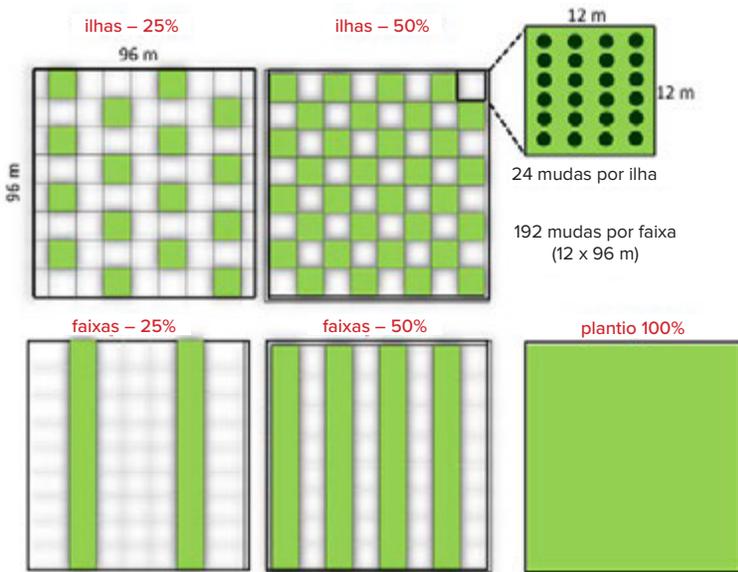
### Projeto da implementação e nucleação

**aplicada:** As árvores foram plantadas em faixas (3-4 linhas de árvores) semelhante a um plantio de estilo de plantação, mas deixando faixas não plantadas entre as linhas para recolonizar naturalmente. Tal estratégia se assemelha a uma abordagem de corte em tiras que facilita a regeneração natural e a sobrevivência e o crescimento de algumas espécies nativas plantadas (Ashton et al., 1998; Rondon et al., 2009). Apresenta alguns benefícios potenciais: como a nucleação aplicada, o plantio em faixa deve resultar em redução de custos para plantio e manutenção de mudas plantadas, e pode proporcionar maior heterogeneidade

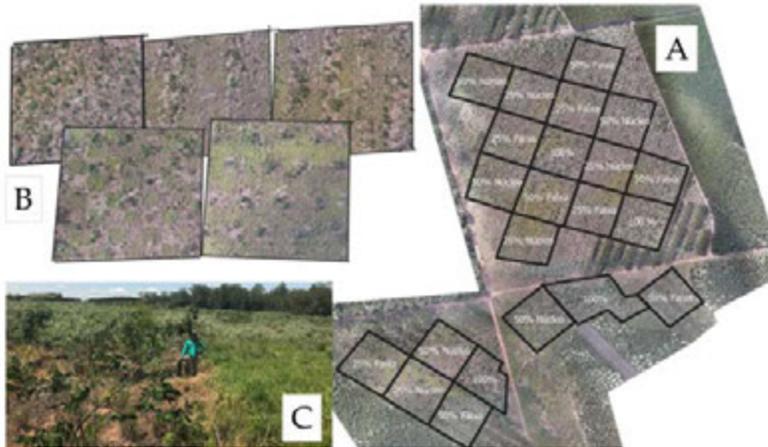
de habitat, fornecendo áreas plantadas e não plantadas. Além disso, apresenta menos obstáculos logísticos para o plantio e a localização de mudas para manutenção, pois o reencontro de manchas de ilhas de árvores recém-plantadas pode constituir um desafio em áreas com pastagens densas (Holl et al., 2020). Além disso, muitas áreas que devem ser restauradas de acordo com o código florestal brasileiro são tampões ciliares - o plantio em faixas pode ser bem adequado a esse contexto. Não temos conhecimento, no entanto, de nenhum experimento em larga escala até o momento que teste uma abordagem de plantio em faixas para restauração de florestas tropicais.

Estabelecemos um estudo de restauração florestal em agosto de 2017 para comparar o plantio em estilo de plantação (plantar toda a área com árvores), nucleação aplicada (plantar manchas/ilhas de árvores) e plantio em faixa (plantar fileiras de árvores separadas por faixas abertas). O estudo foi elaborado de forma consistente com as práticas florestais atuais em uma escala significativa para informar os esforços de restauração no terreno. Testamos os seguintes tratamentos: 1) Ilhas quadradas cobrindo 25% da área; 2) Ilhas quadradas cobrindo 50% da área; 3) Árvores plantadas em faixas cobrindo 25% da área; 4) Árvores plantadas em faixas cobrindo 50% da área; e 5) Plantação cobrindo toda a área (Fig. 1, 2). Utilizou-se parcelas de 1 ha e delineamento em blocos randomizados com cinco repetições cada, totalizando 25 ha de experimento. Não variamos o tamanho das ilhas, pois tanto Zahawi e Augspurger (2006) quanto Zahawi et al. (2013) mostram que há um tamanho mínimo

<sup>4</sup>A Universidade de São Paulo disponibilizou o terreno experimental, e a Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo e a ONG SOS Mata Atlântica financiaram o estabelecimento e a manutenção de longo prazo, respectivamente. Uma empresa privada foi contratada para plantar as árvores e outra empresa, composta por moradores locais, para mantê-las.



**Figura 1:** Tratamentos de plantio de árvores testados no experimento.



**Figura 2:** Visão aérea do experimento (A) e dos tratamentos (B), e o contraste entre área plantada e não plantada (C), 1 ano após o plantio.

crítico de ilha de  $\sim 100 \text{ m}^2$  necessário para atrair dispersores de sementes de pássaros e melhorar o estabelecimento das sementes. Usamos ilhas de  $12 \times 12 \text{ m}$ , quatro linhas plantadas separadas  $3 \text{ m}$  uma da outra.

Procuramos estabelecer um dossel rapidamente, fornecer heterogeneidade na arquitetura do dossel e atrair fauna dispersora de sementes. Todas as áreas plantadas utilizaram as mesmas proporções de espécies: cinco espécies arbóreas nativas de rápido crescimento e copa ampla e 36 espécies de crescimento intermediário (metade delas dispersas por animais e metade dispersas de modo abiótico). Selecionamos espécies

fáceis de encontrar em viveiros florestais da região. A prioridade foi dada às espécies de crescimento intermediário que podem atingir maior tamanho individual. *Inga vera* foi plantada em uma densidade mais alta do que outras espécies de árvores nativas de rápido crescimento e copa larga porque tem uma notável expansão lateral de dossel e é pioneira de longa vida. O número de espécies plantadas é menor do que o mais diversificado dos projetos brasileiros de restauração da Mata Atlântica (Rodrigues et al., 2009), mas nosso foco foi manter o desenho geral manejável e como os diferentes desenhos de plantio facilitam a colonização de outras espécies.

Comparamos os efeitos desses métodos de plantio em termos de (1) sobrevivência e crescimento de mudas plantadas, (2) regeneração natural, (3) cobertura de grama invasora, (4) custos de implementação e manutenção e (5) custo-benefício para o sequestro de carbono, recuperação da biodiversidade e conformidade legal com padrões de restauração pré-estabelecidos. Temos resultados preliminares, mas ainda não estão prontos para apresentação detalhada.

#### **Resultados: sociais e ecológicos:**

As operações de plantio mostraram-se muito mais rápidas e baratas para estabelecer linhas de plantio em comparação com ilhas, pois utilizamos um subsolador florestal. Não é possível usar um subsolador para ilhas porque ele não pode ser realocado dentro e fora do solo. Após três anos, o desempenho das mudas até agora é semelhante entre os tratamentos. Como esperado, o controle de gramíneas invasoras tem sido mais desafiador tanto em núcleos de árvores quanto em faixas em comparação com plantações convencionais. Resultados mais detalhados estão em processo de análise por esta equipe.

#### **Literatura citada**

Ashton, P. M. S., Gamage, S., Gunatilleke, I. A. U. N., & Gunatilleke, C. V. S. (1998). Using Caribbean pine to establish a mixed plantation: Testing effects of pine canopy removal on plantings of rain forest tree species. *Forest Ecology and Management*, 106(2), 211–222. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(97\)00314-9](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(97)00314-9)

Brancalion, P. H. S., Viani, R. A. G., Calmon, M., Carrascosa, H., & Rodrigues, R. R. (2013). How to Organize a Large-Scale Ecological Restoration Program? The Framework Developed by the Atlantic Forest Restoration Pact in Brazil. *Journal of Sustainable Forestry*, 32(7), 728–744. <https://doi.org/10.1080/10549811.2013.817339>

Corbin, J. D., & Holl, K. D. (2012). Applied nucleation as a forest restoration strategy. *Forest Ecology and Management*, 265, 37–46. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.10.013>

Elliott, S., Navakitbumrung, P., Kuarak, C.,

Zangkum, S., Anusarnsunthorn, V., & Blakesley, D. (2003). Selecting framework tree species for restoring seasonally dry tropical forests in northern Thailand based on field performance. *Forest Ecology and Management*, 184(1), 177–191. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(03\)00211-1](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(03)00211-1)

Holl, K. D., Reid, J. L., Cole, R. J., Oviedo-Brenes, F., Rosales, J. A., & Zahawi, R. A. (2020). Applied nucleation facilitates tropical forest recovery: Lessons learned from a 15-year study. *Journal of Applied Ecology*, 57(12), 2316–2328. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13684>

Holl, K. D., Stout, V. M., Reid, J. L., & Zahawi, R. A. (2013). Testing heterogeneity–diversity relationships in tropical forest restoration. *Oecologia*, 173(2), 569–578. <https://doi.org/10.1007/s00442-013-2632-9>

Holl, K. D., Zahawi, R. A., Cole, R. J., Ostertag, R., & Cordell, S. (2011). Planting Seedlings in Tree Islands Versus Plantations as a Large-Scale Tropical Forest Restoration Strategy. *Restoration Ecology*, 19(4), 470–479. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2010.00674.x>

Lamb, D. (2011). *Regreening the bare hills: Tropical forest restoration in the Asia-Pacific region*. Springer.

Reis, A., Bechara, F. C., & Tres, D. R. (2010). Nucleation in tropical ecological restoration. *Scientia Agricola*, 67(2), 244–250. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162010000200018>

Benayas, J. M. R., Bullock, J. M., & Newton, A. C. (2008). Creating woodland islets to reconcile ecological restoration, conservation, and agricultural land use. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6(6), 329–336. <https://doi.org/10.1890/070057>

Rodrigues, R. R., Lima, R. A. F., Gandolfi, S., & Nave, A. G. (2009). On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the Brazilian Atlantic Forest. *Biological Conservation*, 142(6), 1242–1251. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.12.008>

Rondon, X. J., Gorchov, D. L., & Cornejo, F. (2009). Tree species richness and composition 15 years after strip clear-cutting in the Peruvian Amazon. *Plant Ecology*, 201(1), 23–37. <https://doi.org/10.1007/s11258-008-9479-x>

Zahawi, R. A., & Augspurger, C. K. (2006). Tropical forest restoration: Tree islands as recruitment foci in degraded lands of Honduras. *Ecological Applications*, 16(2), 464–478. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2006\)016\[0464:TFRTIA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2006)016[0464:TFRTIA]2.0.CO;2)

Zahawi, R. A., Holl, K. D., Cole, R. J., & Reid, J. L. (2013). Testing applied nucleation as a strategy to facilitate tropical forest recovery. *Journal of Applied Ecology*, 50(1), 88–96. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12014>

# REFERÊNCIAS

1. FAO, Restoring forest landscapes through assisted natural regeneration (ANR) - A practical manual, 55 (2019).
2. R. Crouzeilles, N. Alexandre, H. Beyer, B. Bodin, M. R. Guariguata, R. L. Chazdon, Giving nature a hand: Innovations in planning to assist natural regeneration of forests to mitigate climate change, save species from extinctions, and enhance well-being. CI IIS CIFOR, 24 (2019).
3. E. J. Sterling, E. Betley, A. Sigouin, A. Gomez, A. Toomey, G. Cullman, C. Malone, A. Pekor, F. Arengo, M. Blair, C. Filardi, K. Landrigan, A. L. Porzecanski, Assessing the evidence for stakeholder engagement in biodiversity conservation. *Biol. Conserv.* **209**, 159–171 (2017).
4. K. D. Holl, Primer of Ecological Restoration (Island Press, Washington, DC, 2020; <https://islandpress.org/books/primer-ecological-restoration>).
5. New UN Decade on Ecosystem Restoration offers unparalleled opportunity for job creation, food security and addressing climate change. UNEP - UN Environ. Programme, (disponível em <http://www.unenvironment.org/news-and-stories/press-release/new-un-decade-ecosystem-restoration-offers-unparalleled-opportunity>).
6. Global Forest Watch, Forest Monitoring, Land Use & Deforestation Trends, (disponível em <https://www.globalforestwatch.org/>).
7. Food and Agriculture Organization of the United Nations, *Global forest resources assessment 2015: how are the world's forests changing?* (2015).
8. A platform for the trillion tree community. 1t.org, (disponível em <https://www.1t.org/>).
9. F. Huwiler, J. Käppeli, K. Serafimova, E. Swanson, J. Tobin, Conservation Finance: Moving beyond donor funding toward an investor-driven approach (2014), (disponível em <https://www.cbd.int/financial/privatesector/g-private-wwf.pdf>).
10. K. D. Holl, P. H. S. Brancalion, Tree planting is not a simple solution. *Science*. **368**, 580–581 (2020).
11. R. L. Chazdon, P. H. S. Brancalion, L. Laestadius, A. Bennett-Curry, K. Buckingham, C. Kumar, J. Moll-Rocek, I. C. G. Vieira, S. J. Wilson, When is a forest a forest? Forest concepts and definitions in the era of forest and landscape restoration. *Ambio*. **45**, 538–550 (2016).
12. R. Crouzeilles, H. L. Beyer, L. M. Monteiro, R. Feltran-Barbieri, A. C. M. Pessôa, F. S. M. Barros, D. B. Lindenmayer, E. D. S. M. Lino, C. E. V. Grelle, R. L. Chazdon, M. Matsumoto, M. Rosa, A. E. Latawiec, B. B. N. Strassburg, Achieving cost-effective landscape-scale forest restoration through targeted natural regeneration. *Conserv. Lett.* **13**, e12709 (2020).
13. R. Heilmayr, C. Echeverría, E. F. Lambin, Impacts of Chilean forest subsidies on forest cover, carbon and biodiversity. *Nat. Sustain.* **3**, 701–709 (2020).
14. J. D. Corbin, K. D. Holl, Applied nucleation as a forest restoration strategy. *For. Ecol. Manag.* **265**, 37–46 (2012).
15. M. Pensa, H. Karu, A. Luud, E. Rull, R. Vaht, The effect of planted tree species on the development of herbaceous vegetation in a reclaimed opencast. *Can. J. For. Res.* **38**, 2674–2686 (2008).
16. A. B. Sampaio, K. D. Holl, A. Scariot, Does Restoration Enhance Regeneration of Seasonal Deciduous Forests in Pastures in Central Brazil? *Restor. Ecol.* **15**, 462–471 (2007).
17. K. D. Holl, T. M. Aide, When and where to actively restore ecosystems? *For. Ecol. Manag.* **261**, 1558–1563 (2011).
18. R. L. Chazdon, Beyond Deforestation: Restoring Forests and Ecosystem Services on Degraded Lands.

*Science*. **320**, 1458–1460 (2008).

19. R. L. Chazdon, D. Lindenmayer, M. R. Guariguata, R. Crouzeilles, J. M. R. Benayas, E. L. Chavero, Fostering natural forest regeneration on former agricultural land through economic and policy interventions. *Environ. Res. Lett.* **15**, 043002 (2020).
20. K. D. Holl, M. E. Loik, E. H. V. Lin, I. A. Samuels, Tropical Montane Forest Restoration in Costa Rica: Overcoming Barriers to Dispersal and Establishment. *Restor. Ecol.* **8**, 339–349 (2000).
21. R. L. Chazdon, Tropical forest recovery: legacies of human impact and natural disturbances. *Perspect. Plant Ecol. Evol. Syst.* **6**, 51–71 (2003).
22. K. D. Holl, J. L. Reid, R. J. Cole, F. Oviedo Brenes, J. A. Rosales, R. A. Zahawi, Applied nucleation facilitates tropical forest recovery: Lessons learned from a 15 year study. *J. Appl. Ecol.*, **57**, 2316–2329 (2020).
23. P. H. S. Brancalion, K. D. Holl, Guidance for successful tree planting initiatives. *J. Appl. Ecol.* **57**, 2349–2361 (2020).
24. D. H. Dent, S. Joseph Wright, The future of tropical species in secondary forests: A quantitative review. *Biol. Conserv.* **142**, 2833–2843 (2009).
25. S. Wilson, J. Rhemtulla, Small montane cloud forest fragments are important for conserving tree diversity in the Ecuadorian Andes. *Biotropica* (2017), doi:10.1111/btp.12542.
26. J. E. M. Watson, T. Evans, O. Venter, B. Williams, A. Tulloch, C. Stewart, I. Thompson, J. C. Ray, K. Murray, A. Salazar, C. McAlpine, P. Potapov, J. Walston, J. G. Robinson, M. Painter, D. Wilkie, C. Filardi, W. F. Laurance, R. A. Houghton, S. Maxwell, H. Grantham, C. Samper, S. Wang, L. Laestadius, R. K. Runting, G. A. Silva-Chávez, J. Ervin, D. Lindenmayer, The exceptional value of intact forest ecosystems. *Nat. Ecol. Evol.* **2**, 599–610 (2018).
27. R. L. Chazdon, S. Careaga, C. Webb, O. Vargas, Community and Phylogenetic Structure of Reproductive Traits of Woody Species in Wet Tropical Forests. *Ecol. Monogr.* **73**, 331–348 (2003).
28. J. L. Reid, J. M. Chaves-Fallas, K. D. Holl, R. A. Zahawi, Tropical forest restoration enriches vascular epiphyte recovery. *Appl. Veg. Sci.* **19**, 508–517 (2016).
29. Forest Trends Association, The Mitigation Hierarchy - Forest Trends. *For.-Trendsorg*, (disponível em <https://www.forest-trends.org/bbop/bbop-key-concepts/mitigation-hierarchy/>).
30. B. B. N. Strassburg, H. L. Beyer, R. Crouzeilles, A. Iribarrem, F. Barros, M. F. de Siqueira, A. Sánchez-Tapia, A. Balmford, J. B. B. Sansevero, P. H. S. Brancalion, E. N. Broadbent, R. L. Chazdon, A. O. Filho, T. A. Gardner, A. Gordon, A. Latawiec, R. Loyola, J. P. Metzger, M. Mills, H. P. Possingham, R. R. Rodrigues, C. A. de M. Scaramuzza, F. R. Scarano, L. Tambosi, M. Uriarte, Strategic approaches to restoring ecosystems can triple conservation gains and halve costs. *Nat. Ecol. Evol.* **3**, 62–70 (2019).
31. J. Stanturf, S. Mansourian, M. Kleine, *Implementing Forest Landscape Restoration* (International Union of Forest Research Organizations, Special Programme for Development of Capacities (IUFRO-SPDC), Vienna, Austria, 2017).
32. P. H. S. Brancalion, R. L. Chazdon, Beyond hectares: four principles to guide reforestation in the context of tropical forest and landscape restoration: Forest and landscape restoration principles. *Restor. Ecol.* **25**, 491–496 (2017).
33. K. D. Holl, J. L. Reid, F. Oviedo-Brenes, A. J. Kulikowski, R. A. Zahawi, Rules of thumb for predicting tropical forest recovery. *Appl. Veg. Sci.* **21**, 669–677 (2018).
34. S. D. Sprenkle-Hyppolite, A. M. Latimer, T. P. Young, K. J. Rice, Landscape Factors and Restoration Practices Associated with Initial Reforestation Success in Haiti. *Ecol. Restor.* **34**, 306–316 (2016).
35. H. D. Le, C. Smith, J. Herbohn, What drives the success of reforestation projects in tropical developing countries? The case of the Philippines. *Glob. Environ. Change.* **24**, 334–348 (2014).
36. S. J. Wilson, O. T. Coomes, 'Crisis restoration' in post-frontier tropical environments: Replanting cloud

- forests in the Ecuadorian Andes. *J. Rural Stud.* **67**, 152–165 (2019).
37. J. L. Reid, S. J. Wilson, G. S. Bloomfield, M. E. Cattau, M. E. Fagan, K. D. Holl, R. A. Zahawi, How Long Do Restored Ecosystems Persist? *Ann. Mo. Bot. Gard.* **102**, 258–265 (2017).
  38. S. M. Galatowitsch, Carbon Offsets as Ecological Restorations. *Restor. Ecol.* **17**, 563–570 (2009).
  39. N. Shaw, R. S. Barak, R. E. Campbell, A. Kirmer, S. Pedrini, K. Dixon, S. Frischie, Seed use in the field: delivering seeds for restoration success. *Restor. Ecol.* **28**, S276–S285 (2020).
  40. G. A. Yarranton, R. G. Morrison, Spatial Dynamics of a Primary Succession: Nucleation. *J. Ecol.* **62**, 417–428 (1974).
  41. L. Reid, Applied Nucleation: What It Is. Cave Gulch Rev. (2012), (disponível em <https://cavegulchreview.wordpress.com/2012/11/04/applied-nucleation-what-it-is/>).
  42. S. Saha, C. Kuehne, J. Bauhus, Lessons learned from oak cluster planting trials in central Europe. *Can. J. For. Res.* **47**, 139–148 (2017).
  43. C. E. Grygiel, J. E. Norland, M. E. Biondini, Precision Prairie Reconstruction (PPR): 15 Years of Data. *Ecol. Restor.* **36**, 276–283 (2018).
  44. K. B. Hulvey, E. A. Leger, L. M. Porensky, L. M. Roche, K. E. Veblen, A. Fund, J. Shaw, E. S. Gornish, Restoration islands: a tool for efficiently restoring dryland ecosystems? *Restor. Ecol.* **25**, S124–S134 (2017).
  45. K. D. Holl, J. L. Reid, J. M. Chaves-Fallas, F. Oviedo-Brenes, R. A. Zahawi, Local tropical forest restoration strategies affect tree recruitment more strongly than does landscape forest cover. *J. Appl. Ecol.* **54**, 1091–1099 (2017).
  46. F. C. Bechara, S. J. Dickens, E. C. Farrer, L. Larios, E. N. Spotswood, P. Mariotte, K. N. Suding, Neotropical rainforest restoration: comparing passive, plantation and nucleation approaches. *Biodivers. Conserv.* **25**, 2021–2034 (2016).
  47. K. D. Holl, R. A. Zahawi, Applied nucleation is a straightforward, cost-effective forest restoration approach: reply to Ramírez-Soto et al. (2018). *Restor. Ecol.* **26**, 618–619 (2018).
  48. F. Bechara, thesis, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (2006).
  49. P. G. Molin, R. Chazdon, S. F. de B. Ferraz, P. H. S. Brancalion, A landscape approach for cost-effective large-scale forest restoration. *J. Appl. Ecol.* **55**, 2767–2778 (2018).
  50. P. H. S. Brancalion, P. Meli, J. R. C. Tymus, F. E. B. Lenti, R. M. Benini, A. P. M. Silva, I. Isernhagen, K. D. Holl, What makes ecosystem restoration expensive? A systematic cost assessment of projects in Brazil. *Biol. Conserv.* **240**, 108274 (2019).
  51. R. L. Chazdon, *Second Growth: The Promise of Tropical Forest Regeneration in an Age of Deforestation*, Chazdon (University of Chicago Press, Chicago, 2014; <https://press.uchicago.edu/ucp/books/book/chicago/S/bo17407876.html>).
  52. R. A. Zahawi, J. L. Reid, K. D. Holl, Hidden Costs of Passive Restoration. *Restor. Ecol.* **22**, 284–287 (2014).
  53. R. Sierra, E. Russman, On the efficiency of environmental service payments: A forest conservation assessment in the Osa Peninsula, Costa Rica. *Ecol. Econ.* **59**, 131–141 (2006).
  54. M. E. Fagan, R. S. DeFries, S. E. Sesnie, J. P. Arroyo, W. Walker, C. Soto, R. L. Chazdon, A. Sanchun, Land cover dynamics following a deforestation ban in northern Costa Rica. *Environ. Res. Lett.* **8**, 034017 (2013).
  55. J. L. Reid, M. E. Fagan, J. Lucas, J. Slaughter, R. A. Zahawi, The ephemerality of secondary forests in southern Costa Rica. *Conserv. Lett.* **12**, e12607 (2019).
  56. M. Elias, B. Vinceti, Restoring lands and livelihoods in Burkina Faso. *Approp. Technol.* **44**, 32–34 (2017).
  57. K. Shono, E. A. Cadaweng, P. B. Durst, Application of Assisted Natural Regeneration to Restore Degraded Tropical Forestlands. *Restor. Ecol.* **15**, 620–626 (2007).

58. P. Dugan, in *Elliott, S., Kerby, J., Blakesley D., Hardwick, K., Woods, K., & Anusarnsunthorn, V editors. Forest restoration for wildlife conservation* (International Tropical Timber Organization and Forest Restoration Research Unit, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand, 2000), pp. 195–200.
59. R. A. Zahawi, C. K. Augspurger, Tropical Forest Restoration: Tree Islands As Recruitment Foci In Degraded Lands Of Honduras. *Ecol. Appl.* **16**, 464–478 (2006).
60. R. A. Zahawi, K. D. Holl, R. J. Cole, J. L. Reid, Testing applied nucleation as a strategy to facilitate tropical forest recovery. *J. Appl. Ecol.* **50**, 88–96 (2013).
61. C. Uhl, R. Buschbacher, E. A. S. Serrao, Abandoned Pastures in Eastern Amazonia. I. Patterns of Plant Succession. *J. Ecol.* **76**, 663 (1988).
62. S. L. R. Wood, J. M. Rhemtulla, O. T. Coomes, Intensification of tropical fallow-based agriculture: Trading-off ecosystem services for economic gain in shifting cultivation landscapes? *Agriculture, Ecosystems & Environment* **215**, 47-56 (2016).
63. D. Lawrence, Erosion of tree diversity during 200 years of shifting cultivation in Bornean rain forest. *Ecological Applications* **14**, 1855-1869 (2004).
64. D. Hill, thesis (2018). Forest restoration in eastern Madagascar: Post-fire survival of select Malagasy tree species. University of Minnesota.
65. E. M. Caves, S. B. Jennings, J. HilleRisLambers, J. J. Tewksbury, H. S. Rogers, Natural Experiment Demonstrates That Bird Loss Leads to Cessation of Dispersal of Native Seeds from Intact to Degraded Forests. *PLOS ONE*. **8**, e65618 (2013).
66. J. L. Reid, R. A. Zahawi, D. A. Zárrate-Chary, J. A. Rosales, K. D. Holl, U. Kormann, Multi-scale habitat selection of key frugivores predicts large-seeded tree recruitment in tropical forest restoration (In Review).
67. L. C. Beltrán, H. F. Howe, The frailty of tropical restoration plantings. *Restor. Ecol.* **28**, 16–21 (2020).
68. J. L. Reid, C. D. Mendenhall, R. A. Zahawi, K. D. Holl, Scale-dependent effects of forest restoration on Neotropical fruit bats. *Restor. Ecol.* **23**, 681–689 (2015).
69. N. B. Schwartz, T. M. Aide, J. Graesser, H. R. Grau, M. Uriarte, Reversals of Reforestation Across Latin America Limit Climate Mitigation Potential of Tropical Forests. *Front. For. Glob. Change*. **3** (2020), doi:10.3389/ffgc.2020.00085.
70. R. D. Fink, C. A. Lindell, E. B. Morrison, R. A. Zahawi, K. D. Holl, Patch Size and Tree Species Influence the Number and Duration of Bird Visits in Forest Restoration Plots in Southern Costa Rica. *Restor. Ecol.* **17**, 479–486 (2009).
71. R. J. Cole, K. D. Holl, R. A. Zahawi, Seed rain under tree islands planted to restore degraded lands in a tropical agricultural landscape. *Ecol. Appl.* **20**, 1255–1269 (2010).
72. J. H. G. Smith, D. L. Reukema, Effects of plantation and juvenile spacing on tree and stand development. *Oliver Chadwick Dearing Hanley Donald P Johns. Jay Eds Douglas-Fir Stand Manag. Future Proc. Symp. 1985 June 18-20 Seattle WA Contrib. No 55 Seattle Coll. For. Resour. Univ. Wash.* 239-245 (1986) (disponível em <https://www.fs.usda.gov/treesearch/pubs/20031>).
73. M. L. Anderson, Spaced - Group planting. *Unasylva*. 7 (1953) (disponível em <http://www.fao.org/3/x5367e/x5367e02.htm>).
74. C. Spadeto, G. Wilson Fernandes, D. Negreiros, S. H. Kunz, Facilitative effects of tree species on natural regeneration in an endangered biodiversity hotspot. *Braz. J. Bot.* **40**, 943–950 (2017).
75. K. R. Eversole, Spacing tests in a Douglas-fir plantation. *For. Sci.* **1**, 14–18 (1955).
76. F. Hébert, C. Krause, P.-Y. Plourde, A. Achim, G. Prigent, J. Ménétrier, Effect of Tree Spacing on Tree Level Volume Growth, Morphology, and Wood Properties in a 25-Year-Old *Pinus banksiana* Plantation in the Boreal Forest of Quebec. *Forests*. **7**, 276 (2016).

77. T. Strong, E. Hansen, Hybrid poplar spacing/productivity relations in short rotation intensive culture plantations. *Biomass Bioenergy*. **4**, 255–261 (1993).
78. E. E. Oldfield, A. J. Felson, D. S. N. Auyeung, T. W. Crowther, N. F. Sonti, Y. Harada, D. S. Maynard, N. W. Sokol, M. S. Ashton, R. J. Warren, R. A. Hallett, M. A. Bradford, Growing the urban forest: tree performance in response to biotic and abiotic land management. *Restor. Ecol.* **23**, 707–718 (2015).
79. F. Schwerz, E. Eloy, E. F. Elli, B. O. Caron, Reduced planting spacing increase radiation use efficiency and biomass for energy in black wattle plantations: Towards sustainable production systems. *Biomass Bioenergy*. **120**, 229–239 (2019).
80. I. S. Alemdag, W. M. Stiehl, Spacing and Age Effects on Biomass Production in Red Pine Plantations. *For. Chron.* **58**, 220–224 (1982).
81. A. Trakhtenbrot, G. G. Katul, R. Nathan, Mechanistic modeling of seed dispersal by wind over hilly terrain. *Ecological Modelling* **274**, 29–40 (2014).
82. P. H. S. Brancalion et al., Maximizing biodiversity conservation and carbon stocking in restored tropical forests. *Conservation Letters* **11**, e12454 (2018).
83. C. Martínez-Garza, H. F. Howe, Restoring tropical diversity: beating the time tax on species loss. *Journal of Applied Ecology* **40**, 423–429 (2003).
84. C. A. Lindell, J. L. Reid, R. J. Cole, Planting Design Effects on Avian Seed Dispersers in a Tropical Forest Restoration Experiment. *Restor. Ecol.* **21**, 515–522 (2013).
85. P. H. S. A. Camargo, M. A. Pizo, P. H. S. Brancalion, T. A. Carlo, Fruit traits of pioneer trees structure seed dispersal across distances on tropical deforested landscapes: Implications for restoration. *J. Appl. Ecol.*, 1365–2664.13697 (2020).
86. H. F. Howe, Making dispersal syndromes and networks useful in tropical conservation and restoration. *Glob. Ecol. Conserv.* **6**, 152–178 (2016).
87. C. Kuaraksa, S. Elliott, The Use of Asian Ficus Species for Restoring Tropical Forest Ecosystems. *Restor. Ecol.* **21**, 86–95 (2013).
88. H. E. W. Cottee Jones, O. Bajpai, L. B. Chaudhary, R. J. Whittaker, The Importance of Ficus (Moraceae) Trees for Tropical Forest Restoration. *Biotropica*. **48**, 413–419 (2016).
89. R. A. Zahawi, J. L. Reid, Tropical secondary forest enrichment using giant stakes of keystone figs. *Perspect. Ecol. Conserv.* **16**, 133–138 (2018).
90. R. A. Zahawi, C. K. Augspurger, Early Plant Succession in Abandoned Pastures in Ecuador1. *Biotropica*. **31**, 540–552 (1999).
91. S. P. Healey, R. I. Gara, The effect of a teak (*Tectona grandis*) plantation on the establishment of native species in an abandoned pasture in Costa Rica. *For. Ecol. Manag.* **176**, 497–507 (2003).
92. K. D. Holl, R. A. Zahawi, R. J. Cole, R. Ostertag, S. Cordell, Planting Seedlings in Tree Islands Versus Plantations as a Large-Scale Tropical Forest Restoration Strategy. *Restor. Ecol.* **19**, 470–479 (2011).
93. V. Reyes García, Á. Fernández Llamazares, P. McElwee, Z. Molnár, K. Öllerer, S. J. Wilson, E. S. Brondizio, The contributions of Indigenous Peoples and local communities to ecological restoration. *Restor. Ecol.* **27**, 3–8 (2019).
94. G. D. Gann, T. McDonald, B. Walder, J. Aronson, C. R. Nelson, J. Jonson, J. G. Hallett, C. Eisenberg, M. R. Guariguata, J. Liu, F. Hua, C. Echeverría, E. Gonzales, N. Shaw, K. Decler, K. W. Dixon, International principles and standards for the practice of ecological restoration. Second edition. *Restor. Ecol.* **27**, S1–S46 (2019).
95. J. M. Rey Benayas, L. Martínez-Baroja, L. Pérez-Camacho, P. Villar-Salvador, K. D. Holl, Predation and aridity slow down the spread of 21-year-old planted woodland islets in restored Mediterranean farmland. *New For.* **46**, 841–853 (2015).

- 
96. International Tropical Timber Organization, *ITTO guidelines for the restoration, management and rehabilitation of degraded and secondary tropical forests*. (International Tropical Timber Organization, Yokohama, Japan, 2002).
  97. E. P. Fernandez Barrancos, J. L. Reid, J. Aronson, Tank bromeliad transplants as an enrichment strategy in southern Costa Rica. *Restor. Ecol.* **25**, 569–576 (2017).
  98. K. Evans, M. R. Guariguata, Participatory monitoring in tropical forest management: a review of tools, concepts and lessons learned. *CIFOR* (2008), , doi:10.17528/cifor/002486.
  99. L. Li, M. W. Cadotte, C. Martínez-Garza, M. de la Peña-Domene, G. Du, Planting accelerates restoration of tropical forest but assembly mechanisms appear insensitive to initial composition. *J. Appl. Ecol.* **55**, 986–996 (2018).
  100. A. Ramírez-Soto, C. R. Lucio-Palacio, R. Rodríguez-Mesa, I. Sheseña-Hernández, F. N. Farhat, B. Villa-Bonilla, L. Landa Libreros, G. Gutiérrez Sosa, O. Trujillo Santos, I. Gómez Sánchez, E. Ruelas Inzunza, Is applied nucleation a straightforward, cost-effective forest restoration approach? Counter-response to Holl and Zahawi (2018). *Restor. Ecol.* **26**, 620–621 (2018).

**Para obter mais informações sobre como cumprir as promessas de restauração, entre em contato observando o contato a seguir:**

**Conservation International (CI)**  
2011 Crystal Dr #600,  
Arlington, VA 22202 EUA  
<https://www.conservation.org>