

5

MONITORAMENTO DE CAMPO VINCULADO AO SENSORIAMENTO REMOTO: CONCEITOS E ORIENTAÇÃO GERAL

**Laura Helena Porcari Simões, Ricardo Augusto Gorne Viani,
Daniel Luis Mascia Vieira, Alex Fernando Mendes,
Julio Ricardo Caetano Tymus, Luciana Spinelli-Araujo,
Pedro Henrique Santin Brancalion, Rafael Walter Albuquerque**

5.1 INTRODUÇÃO

O monitoramento tradicional da Restauração de Ecossistemas é feito através de inventários florestais, viabilizados mediante a coleta de dados em campo. No entanto, o monitoramento através de inventários florestais em larga escala é limitado ao considerar aspectos econômicos e operacionais (ALMEIDA et al., 2019b). Afinal, o custo da coleta de um número de amostras efetivamente representativas da heterogeneidade de grandes áreas de restauração é elevado (VIANI et al., 2018). Nesse contexto, as tecnologias de sensoriamento tornam-se aliadas dos restauradores para monitorar de forma ágil grandes áreas (ALMEIDA et al., 2020b), atuando de forma complementar ao monitoramento realizado em campo.

A seguir apresentam-se conceitos e orientações de boas práticas para a realização de trabalhos de campo que auxiliam sua integração aos dados obtidos por Sensoriamento Remoto. O objetivo deste capítulo é validar e melhorar a qualidade dos dados coletados por Sensoriamento Remoto, que isoladamente não geram diagnóstico completo. Além disso, os dados obtidos em campo combinados com os dados de sensoriamento remoto podem ser utilizados para auxiliar a construção de procedimentos metodológicos de ampliação da escala do monitoramento. Assim, recomendar procedimentos para a coleta de dados que servirão também como referência para trabalhos de P&D envolvendo Sensoriamento Remoto e Restauração de Ecossistemas torna-se fundamental.

5.2 DEFINIÇÃO DE POLÍGONOS PARA O MONITORAMENTO DA RESTAURAÇÃO Adaptado de Sousa e Vieira (2017)

O monitoramento dos indicadores deve ser aplicado a cada área (representada por um polígono) de restauração ou a um agrupamento de áreas (vários polígonos). Um polígono de restauração é uma área ambientalmente homogênea com relação à formação da vegetação original (florestal, savânica e campestre), ao uso do solo mais recente (agricultura, pastagem, mineração, entre outros), ao terreno (tipo de solo, declividade, presença de processos erosivos, entre outros), ao tempo decorrido do início da ação de restauração, além da presença e quantidade de regenerantes de espécies nativas. É possível ter na mesma área vários polígonos em condições homogêneas, separados por estradas ou rios. Esses polígonos com condições ambientais e idade semelhantes podem ser agrupados e chamados conjuntamente de “agrupamento de polígonos”.

Variações ambientais entre polígonos ou agrupamento de polígonos podem demandar diferentes métodos de restauração ou irão gerar diferentes resultados da restauração, ainda que sejam aplicados os mesmos métodos. Assim, áreas implantadas em anos ou com métodos diferentes pertencerão a polígonos ou grupos de polígonos de restauração diferentes. No estudo de caso apresenta-se a demarcação de três polígonos de restauração (subdivididos em grades para locação de parcelas) em uma propriedade rural, com áreas distintas a serem restauradas (**Figura 3**). No primeiro polígono, onde a área é composta de pasto com predominância de árvores de cerrado e gramíneas africanas, o restaurador pretende recompor a vegetação de cerrado típico (formação savânica); outro polígono consiste de área de cultivo agrícola, onde o restaurador optou por recompor floresta, devido à proximidade da área a remanescentes de floresta e presença de solo mais fértil; e, por último, um polígono para área de cultivo agrícola onde pretende-se recompor a vegetação de cerrado, considerando o solo menos fértil e presença de regeneração recorrente de espécies de cerrado. Caso haja mudanças ambientais e alterações em parte dele, como um incêndio, entrada de gado, ou por resultados diferenciados do plantio de restauração, um polígono de restauração poderá ser subdividido posteriormente. A divisão orientará a adoção de novas ações e procedimentos e que partes da restauração de maior sucesso sejam aprovadas anteriormente às demais.

A demarcação dos polígonos de restauração na **Figura 3** está exemplificada utilizando o *software* Google Earth Pro®. Este *software* é gratuito e possui ferramentas simples para realizar a demarcação e cálculo do tamanho das áreas. Outros programas de computador de manipulação de imagens de satélite que produzem mapas também podem ser utilizados nesta fase.

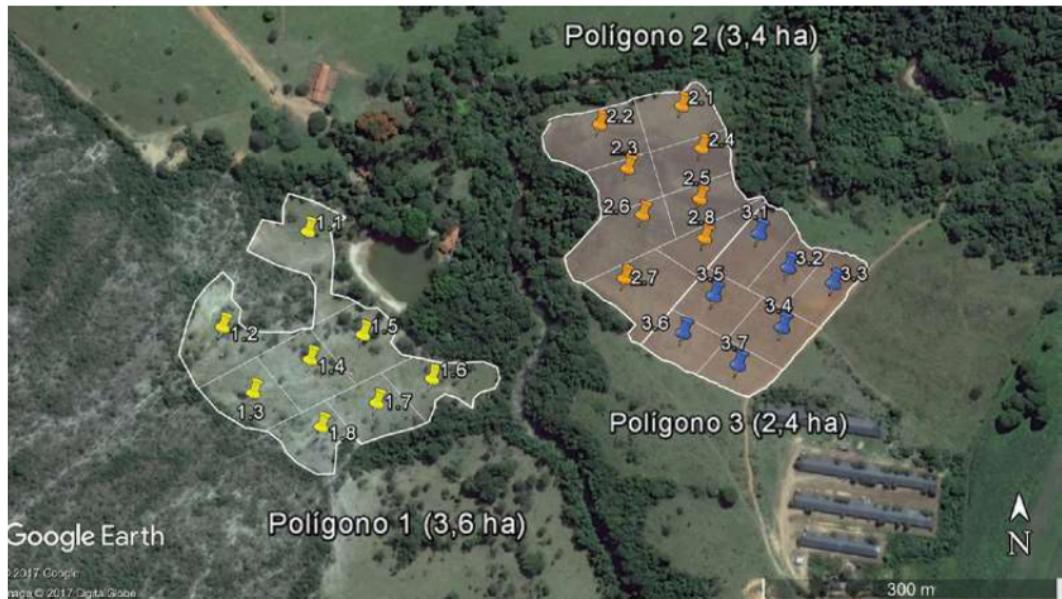


Figura 3

Mapa de planejamento de amostragem com espacialização das parcelas em campo. Inclui demarcação de unidades de monitoramento dentro de polígonos de restauração. Neste exemplo, o restaurador decidiu criar três polígonos de restauração que possuem 3,6 ha, 3,4 ha e 2,4 ha. Em cada polígono foi sobreposta uma grade para distribuição das parcelas. A quantidade de subdivisões da grade corresponde à quantidade de parcelas. Uma parcela de amostragem (representada por alfinetes na figura) deverá ser alocada aleatoriamente em cada espaço da grade. Veja o cálculo da suficiência amostral na seção 5.5. Fonte: Sousa e Vieira (2017).

Cada grade do polígono (representada por um alfinete na **Figura 3**) deverá conter ao menos uma parcela alocada aleatoriamente (ver tamanhos de parcelas na seção 5.5.2) ou utilizar pontos quadrantes (para mais informações veja Felfili et al. (2011)). Porém, o presente documento considerou o uso de parcelas, que são o método adequado para integração com o Sensoriamento Remoto.

Conforme mencionado na seção 3.6, este protocolo considera as seguintes categorias de sensores e níveis de aquisição de informações por Sensoriamento Remoto no monitoramento da restauração: sensoriamento orbital (seção 6), fotogrametria através de drones (seção 7) ou sensores LiDAR (seção 8). Vale notar que esses diferentes sensores e plataformas podem auxiliar a identificação de diferentes graus de sucesso da restauração num polígono, demandando subdivisões em novos polígonos no decorrer do processo. O histórico de imagens disponibilizado gratuitamente no Google Earth pode ser uma alternativa para verificar a dinâmica de cobertura de dossel tanto no polígono quanto

no seu entorno. Alternativamente, diferentes polígonos podem ser monitorados e verificados quanto à evolução de seus atributos com maior nível de detalhes via Drones-rgb (ALBUQUERQUE et al., 2021) ou via sensores LiDAR-ALS (ALMEIDA et al., 2020a), o que pode auxiliar os processos de amostragem estratificada em campo.

Frente à integração de trabalhos de campo com o Sensoriamento Remoto, a **Tabela 3** apresenta um resumo de indicadores importantes a serem medidos em campo via inventários florestais, bem como as metodologias que possibilitam sua medição dentro das parcelas e os objetivos da Restauração de Ecossistemas que cada indicador cumpre. A seguir vem a descrição dos métodos de inventário florestal para obtenção de cada indicador apresentado na **Tabela 3**.

Tabela 3
Indicadores relevantes a serem medidos em campo, respectivas metodologias para seu levantamento e objetivos da Restauração de Ecossistemas que cada indicador propicia.

OBJETIVO (BIODIVERSIDADE, CARBONO OU CUMPRIMENTO LEGAL)	INDICADOR	MÉTODO	MATERIAIS	DIFICULDADE/TEMPO/CUSTO
BIODIVERSIDADE	RIQUEZA DE ÁRVORES - SEÇÃO 5.3.1	AMOSTRAGEM EM PARCELAS	PRANCHETA, PAPEL, CANETA E FITA MÉTRICA	REQUER CONHECIMENTO DE BOTÂNICA (IDENTIFICAÇÃO DE MORFOESPÉCIES). PERMITE CÁLCULOS ADICIONAIS DE ABUNDÂNCIA E RIQUEZA POR ESPÉCIE, BEM COMO DE ÍNDICES DE DIVERSIDADE. PERMITE USAR OS DADOS DE RIQUEZA POR PARCELA COMO RÉPLICA PARA ANÁLISES DE RELAÇÕES COM INDICADORES DO SR.
CUMPRIMENTO LEGAL/ INDICADORES DE FUTURO	COBERTURA DE COPAS (DOSSEL) - SEÇÃO 5.3.3	INTERCEPTAÇÃO DE PONTOS EM LINHAS	PRANCHETA, PAPEL, TRENA E VARETA DE 2M ALTURA X <2CM DE DIÂMETRO	REQUER CONHECIMENTO BOTÂNICO PARA IDENTIFICAÇÃO DE DOSSEL E SOL PLENO, E DIFERENCIAR ESPÉCIES EXÓTICAS DE NATIVAS
CUMPRIMENTO LEGAL/ INDICADORES DE FUTURO	COBERTURA DO SOLO POR FORMAS DE VIDA - SEÇÃO 5.3.4.1	INTERCEPTAÇÃO DE PONTOS EM LINHAS	PRANCHETA, PAPEL, TRENA E VARETA DE 2M ALTURA X <2CM DE DIÂMETRO	REQUER CONHECIMENTO PARA IDENTIFICAÇÃO DE FORMAS DE VIDA (ERVAS, ARBUSTOS, ÁRVORES ETC) E DIFERENCIAR ESPÉCIES EXÓTICAS DE NATIVAS
CUMPRIMENTO LEGAL/ INDICADORES DE FUTURO	COBERTURA DE FORMAS DE VIDA POR ESTRATOS (ESTRATIFICAÇÃO) - SEÇÃO 5.3.5.1	INTERCEPTAÇÃO DE PONTO EM LINHAS	PRANCHETA, PAPEL, TRENA E VARETA DE 2M ALTURA X <2CM DE DIÂMETRO	REQUER CONHECIMENTO PARA IDENTIFICAÇÃO DE FORMAS DE VIDA (ERVAS, ARBUSTOS, ÁRVORES ETC) E DIFERENCIAR ESPÉCIES EXÓTICAS DE NATIVAS

OBJETIVO (BIODIVERSIDADE, CARBONO OU CUMPRIMENTO LEGAL)	INDICADOR	MÉTODO	MATERIAIS	DIFICULDADE/TEMPO/CUSTO
CARBONO/ CUMPRIMENTO LEGAL/ INDICADORES DE FUTURO	ÁREA BASAL / DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA - SEÇÕES 5.3.6 E 5.3.7	MEDIÇÃO DE DAP DE ÁRVORES A PARTIR DE ÁRVORES COM ALTURA MÍNIMA DE 1,3 CM OU OUTRA CLASSE DE TAMANHO PEQUENA	TRENA, PRANCHETA, PAPEL, CANETA E FITA MÉTRICA	NÃO REQUER CONHECIMENTO ESPECÍFICO. LEVA O TEMPO DE MONTAR PARCELAS E MEDIR TODAS AS ÁRVORES A PARTIR DE UM DIÂMETRO BAIXO.
CUMPRIMENTO LEGAL/ INDICADORES DE FUTURO	DENSIDADE DE ÁRVORES NATIVAS ABAIXO DO DOSSEL - SEÇÃO 5.3.8	CONTAGEM POR PARCELA	PRANCHETA, PAPEL, CANETA, TRENA E VARETA DE 2M DE ALTURA X 2CM DE DIÂMETRO	REQUER MONTAGEM DE PARCELAS SIMPLES, COM APENAS DUAS EXTREMIDADES. COM A VARETA SE DELIMITA OS LIMITES DOS LADOS MAIORES DA PARCELA. COM A MESMA VARETA SE DELIMITA A ALTURA MÁXIMA E MÍNIMA DE INCLUSÃO. MÉTODO MUITO SIMPLES.
CARBONO	BIOMASSA ARBÓREA ACIMA DO SOLO - SEÇÃO 5.4	USO DE EQUAÇÕES ALOMÉTRICAS JÁ EXISTENTES COMBINANDO DAP, ALTURA E/OU DENSIDADE DA MADEIRA	PRANCHETA, PAPEL, CANETA, FITA MÉTRICA E, TALVEZ, EQUIPAMENTO PARA ESTIMATIVA DE ALTURA (CLINÔMETRO OU HIPSÔMETRO). PODEM SER NECESSÁRIOS DADOS DE DENSIDADE DA MADEIRA DE CADA ESPÉCIE, QUE, PARA OBTENÇÃO, DEMANDAM OU DADOS SECUNDÁRIOS (ACESSO AO BANCO GLOBAL DE DENSIDADE DA MADEIRA) OU RETIRADA DE AMOSTRAS E PROCEDIMENTO LABORATORIAIS.	NÃO DESTRUTIVO. É PREFERÍVEL O USO DE EQUAÇÕES REGIONAIS, DESENVOLVIDAS PARA A MESMA TÉCNICA DE RESTAURAÇÃO E IDADE DA ÁREA SENDO MONITORADA.
CARBONO		DESENVOLVIMENTO DE EQUAÇÕES ALOMÉTRICAS COM AMOSTRAGENS DESTRUTIVAS	PRANCHETA, PAPEL, CANETA, FITA MÉTRICA E, TALVEZ, EQUIPAMENTO PARA ESTIMATIVA DE ALTURA (CLINÔMETRO OU HIPSÔMETRO). EQUIPAMENTOS PARA DERRUBADA, SECCIONAMENTO E PESAGEM DOS COMPARTIMENTOS (TRONCO, RAMOS, FOLHAS) DA ÁRVORE.	CUSTOSO, DIFÍCIL E DESTRUTIVO. EXIGE CORTAR, SECCIONAR E PESAR COMPARTIMENTOS DE ÁRVORES DE DIFERENTES CLASSES DIAMÉTRICAS E PROCESSAR ESTATISTICAMENTE INFORMAÇÕES PARA ENCONTRAR MELHORES MODELOS E EQUAÇÕES PARA ESTIMATIVA DAS ÁREAS EM RESTAURAÇÃO. GERA EQUAÇÕES REGIONAIS, EM TEORIA MAIS EFICAZES QUE EQUAÇÕES GERAIS OU DE OUTRAS REGIÕES.

5.3 INVENTÁRIO FITOSSOCIOLÓGICO

A seguir são apresentados os procedimentos metodológicos para medição de indicadores dentro das parcelas instaladas em campo. Os dados coletados nas parcelas permitem a geração de um inventário fitossociológico.

5.3.1 RIQUEZA DE ÁRVORES

Diversos indicadores de biodiversidade ou composição têm sido monitorados na restauração ecológica, sendo a riqueza de espécies vegetais um dos mais comumente acessados em campo (GATICA-SAAVEDRA; ECHEVERRÍA; NELSON, 2017). Na restauração de ecossistemas florestais, o indicador de riqueza de plantas normalmente monitorado é a riqueza de espécies arbóreas, expressa em número de espécies de árvores numa dada área (VIANI et al., 2018). Embora florestas abriguem diferentes formas de vida vegetal, árvores são determinantes da sua estrutura e seus indivíduos são maiores e mais fáceis de serem individualizados e contados do que herbáceas, arbustos, epífitas e trepadeiras. Além disso, em florestas tropicais, as árvores representam uma forma de vida diversa, composta de espécies com diferentes portes e que surgem em diferentes fases da sucessão ecológica. Assim, ao monitorar a riqueza de espécies arbóreas podemos inferir sobre a qualidade e estágio sucessional da área e, de certa forma, assumirmos que uma comunidade arbórea diversa cria condições para a existência ou o surgimento futuro de outras formas de vida vegetal e animal desejáveis ao longo do processo de Restauração de Ecossistemas.

A riqueza de espécies arbóreas pode ser mensurada em parcelas de monitoramento de restauração dentro das quais as árvores que atingem um tamanho mínimo são contadas e identificadas (ou ao menos separadas em morfotipos). O tamanho e a quantidade de parcelas para a amostragem da riqueza de árvores em áreas de Restauração de Ecossistemas são tópicos relevantes e ainda estudados (VIANI et al., 2018). Obviamente, quanto maior a intensidade amostral, mais a amostragem é significativa. Em termos práticos, uma recomendação é que a amostragem termine quando numa nova parcela instalada não resulte em novas espécies. É comum também a criação de curvas do coletor ou de acumulação de espécies para auxiliar na identificação da suficiência amostral da riqueza de espécies, porém, questionamentos têm sido feitos a estes procedimentos, dada a subjetividade da interpretação (SCHILLING; BATISTA; COUTO, 2012). Corte et al. (2013), por exemplo, concluíram que a curva do coletor pode ser influenciada pela ordem de alocação das amostras no gráfico, podendo demonstrar uma situação que não necessariamente reflete a estabilidade na inclusão de novas espécies na amostragem.

Figura 4
Exemplos de disposição de parcelas aleatórias (A) e parcelas sistemáticas (B) para amostragem da riqueza de árvores em um polígono de restauração. Em B, a distância entre parcelas é sempre igual, considerando, por exemplo, a divisão do comprimento da área pelo número de parcelas a ser instalado.



5.3.1.1 Considerações sobre a obtenção do indicador Riqueza de espécies arbóreas

Uma dificuldade relacionada não só ao indicador riqueza de árvores, mas a todos os indicadores de biodiversidade e composição, é a necessidade de ao menos categorizar os indivíduos em morfoespécies. Morfoespécie é um grupo de indivíduos cuja identificação botânica não sabemos, mas que sabemos que se trata de uma dada espécie diferente de todas as demais encontradas. Assim, um conhecimento botânico mínimo é necessário para coleta desse indicador no campo. Por outro lado, o método de amostragem da riqueza de árvores não demanda materiais específicos e caros, bastando uma prancheta, fita métrica e caneta. Além disso, uma vez contadas as espécies encontradas no campo, o trabalho de escritório é também simples e resume-se a elaborar uma lista com essas espécies e gerar o número total de espécies amostradas na área. Esse número total refere-se às diferentes espécies que surgiram nas parcelas de amostragem, não sendo a priori o número médio de espécies por parcela. Assim, se forem montadas duas parcelas apenas e cada uma tiver seis espécies, todas diferentes entre si, o total de espécies é doze. Mas, se em um outro exemplo, as duas parcelas da área tiverem seis espécies cada, mas as mesmas em ambas as parcelas, o número total de espécies é de seis. A **Figura 5** abaixo ilustra um exemplo de um total de sete espécies em duas parcelas diferentes e a **Tabela 4** ilustra como fazer o registro de tais sete espécies numa planilha.

NOME DA ESPÉCIE	PARCELA 1	PARCELA 2
SP1	X	X
SP2	X	X
SP3	X	
SP4	X	
SP5	X	X
SP6		X
SP7		X

Tabela 4
Exemplo de como dados de riqueza de árvores podem ser anotados no campo para o exemplo da figura acima.

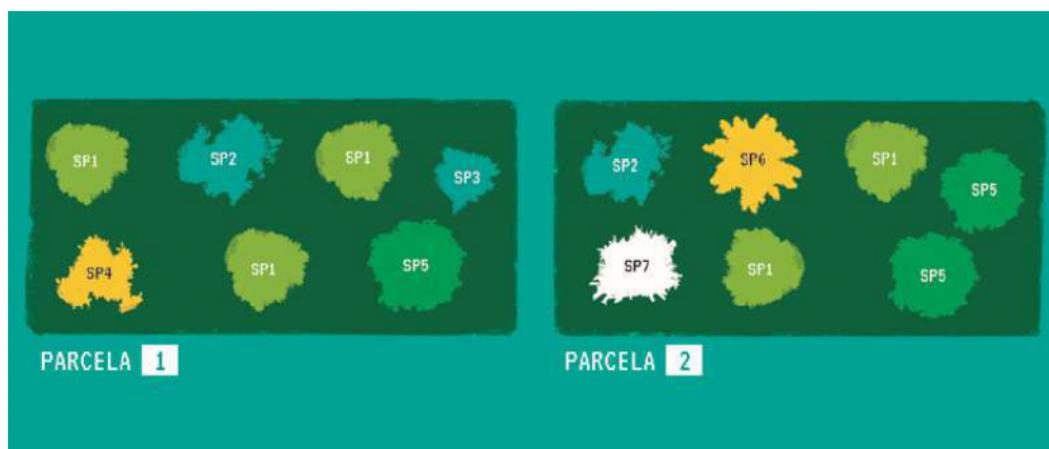


Figura 5
Contagem das espécies em parcelas: embora ambas as parcelas tenham cinco espécies em cada, a riqueza da área, se essas fossem as duas únicas parcelas de amostragem, seria de sete espécies, já que cinco espécies são comuns a ambas as parcelas.

Por outro lado, a riqueza média por parcela pode ser de interesse caso o objetivo do monitoramento seja explicitamente servir de referência para estudos tentando estimá-la de modo indireto via indicadores obtidos no sensoriamento remoto. Isto é pertinente porque sabemos que um grande desafio da pesquisa e desenvolvimento do sensoriamento remoto aplicado à Restauração de Ecossistemas é encontrar indicadores remotos que se relacionam de modo previsível com a riqueza de árvores ou outros indicadores de biodiversidade da restauração.

O critério de inclusão usual dos indivíduos arbóreos na amostragem das árvores é o de diâmetro a altura do peito (DAP) ≥ 5 cm ou o de circunferência a altura do peito (CAP) ≥ 15 cm, medidos no fuste à altura do peito (1,3 m) (esses valores podem variar dependendo do estado da federação). Ou seja, só as árvores que atingirem esse tamanho é que são contabilizadas durante a amostragem, mesmo que indivíduos menores de outras espécies arbóreas sejam avistados na área. Além disso, ressalta-se que os méto-

dos de amostragem citados se aplicam a qualquer área em Restauração de Ecossistemas, independentemente da técnica de restauração usada, e que não se faz qualquer distinção, na amostragem, a indivíduos regenerantes ou introduzidos por técnicas ativas de restauração, via plantio ou semeadura. É possível, entretanto, definir diferentes critérios de inclusão que separam diferentes compartimentos, por exemplo, regenerantes (DAP < 5 cm) de indivíduos introduzidos por restauração ativa (DAP > 5 cm).

Embora geralmente o produto seja uma lista geral de espécies, é comum a criação de sublistas de espécies por grupo funcional. Isso tem sido considerado importante, pois o número absoluto de espécies, embora seja uma medida da biodiversidade, pode não ser um bom indicativo da qualidade atual e futura da área. Além disso, ele é de difícil comparação entre áreas, especialmente se as intensidades amostrais forem diferentes entre si, já que o número de espécies cresce com a área amostrada. Assim, é possível e comum classificar cada espécie arbórea da lista geral obtida em: 1) grupos sucessionais (pioneiras, secundárias iniciais, secundárias tardias, clímax, regenerantes); 2) de acordo com estrato de ocorrência (dossel, sub-dossel, sub-bosque); 3) de acordo com a síndrome de dispersão das sementes (anemocóricas, autocóricas e zoocóricas) e; dentre outras possibilidades. Calculando-se a riqueza e a proporção de espécies em cada categoria dentro desses grupos, têm-se informações para a inferência sobre a qualidade atual e futura da área em restauração. Isso permite, por exemplo, saber se predominam no polígono espécies pioneiras ou tardias, espécies de sub-bosque ou de dossel, entre outras.

Por fim, a riqueza do estrato regenerante, ou seja, dos indivíduos arbóreos de menor porte, tem sido muito usada como indicador de futuro em protocolos de monitoramento da restauração florestal de avaliação de cumprimento legal. Assim, embora seja essencialmente um indicador de biodiversidade, será tratado no tópico referente aos indicadores de cumprimento legal.

5.3.2 COBERTURA DA VEGETAÇÃO

A cobertura da vegetação em uma área de restauração pode ser subdividida em alguns tipos, dependendo do objetivo do estudo e da fase da restauração. Indicamos aqui três variações do método de cobertura por interceptação de pontos em linha que atendem a objetivos distintos e oferecem diferentes níveis de detalhamento de informação: “cobertura do dossel”, “cobertura do solo por formas de vida” e “cobertura por estratos”. O método de interceptação de pontos em linha é um dos mais frequentes na literatura para vegetações em restauração, com variações para atender a diferentes ob-

jetivos e indicadores. A cobertura por formas de vida é adequada para observar a ocupação das espécies ou das formas de vida, pois é resultado da densidade e do tamanho (expansão horizontal das copas), simultaneamente.

A seguir são descritos os três indicadores de cobertura de vegetação com informações relevantes para monitorar a Restauração de Ecossistemas.

5.3.3 COBERTURA DE COPAS (DOSSEL)

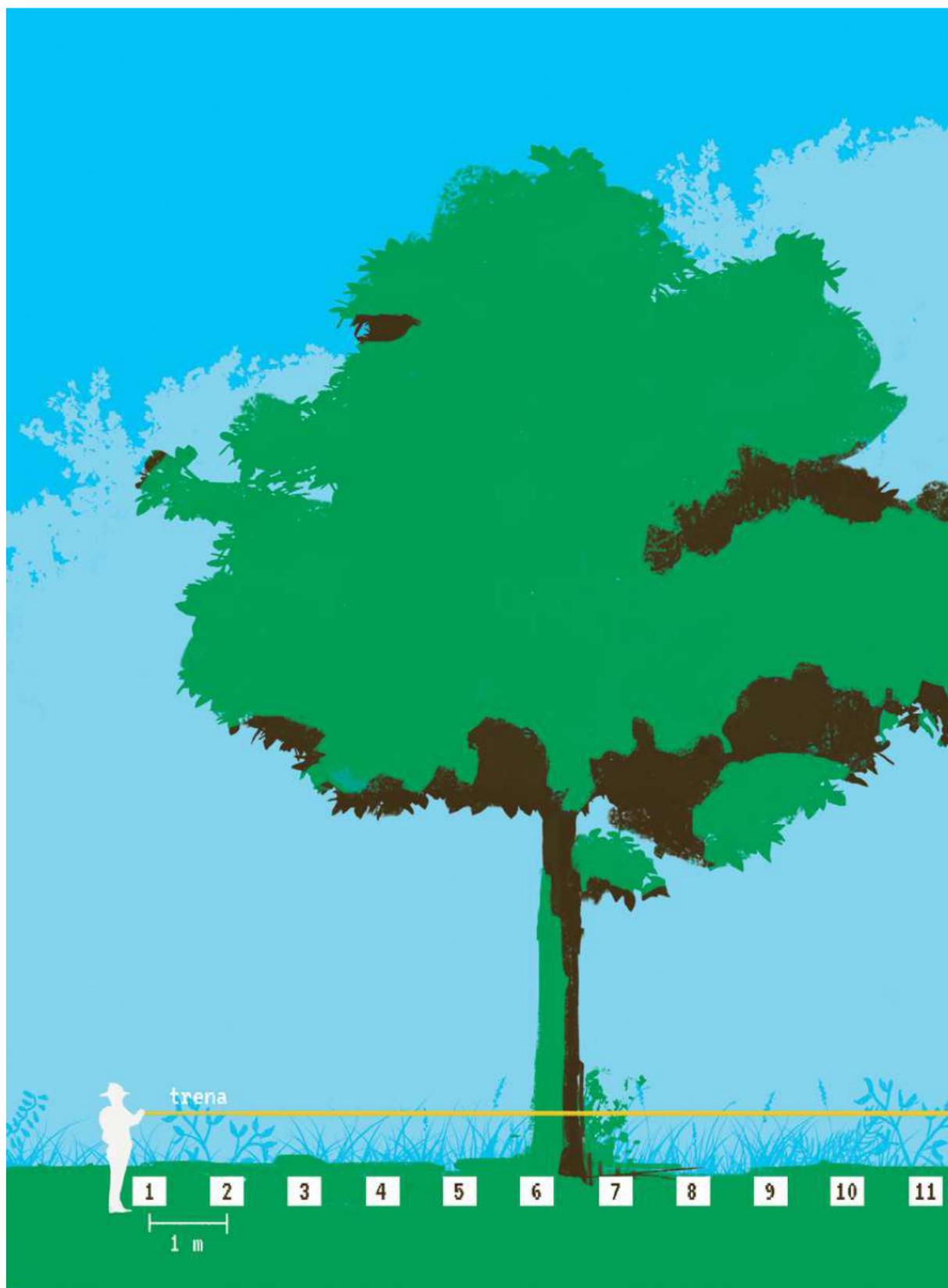
A cobertura do dossel é a proporção da área de restauração que está coberta por copas de árvores que compõem o dossel florestal. A cobertura do dossel indica o percentual de dossel da floresta que se estabeleceu. Ela pode ser usada para definir se: (i) a área avaliada é coberta de floresta ou tem outra cobertura, e (ii) se a etapa de fechamento do dossel foi concluída na restauração.

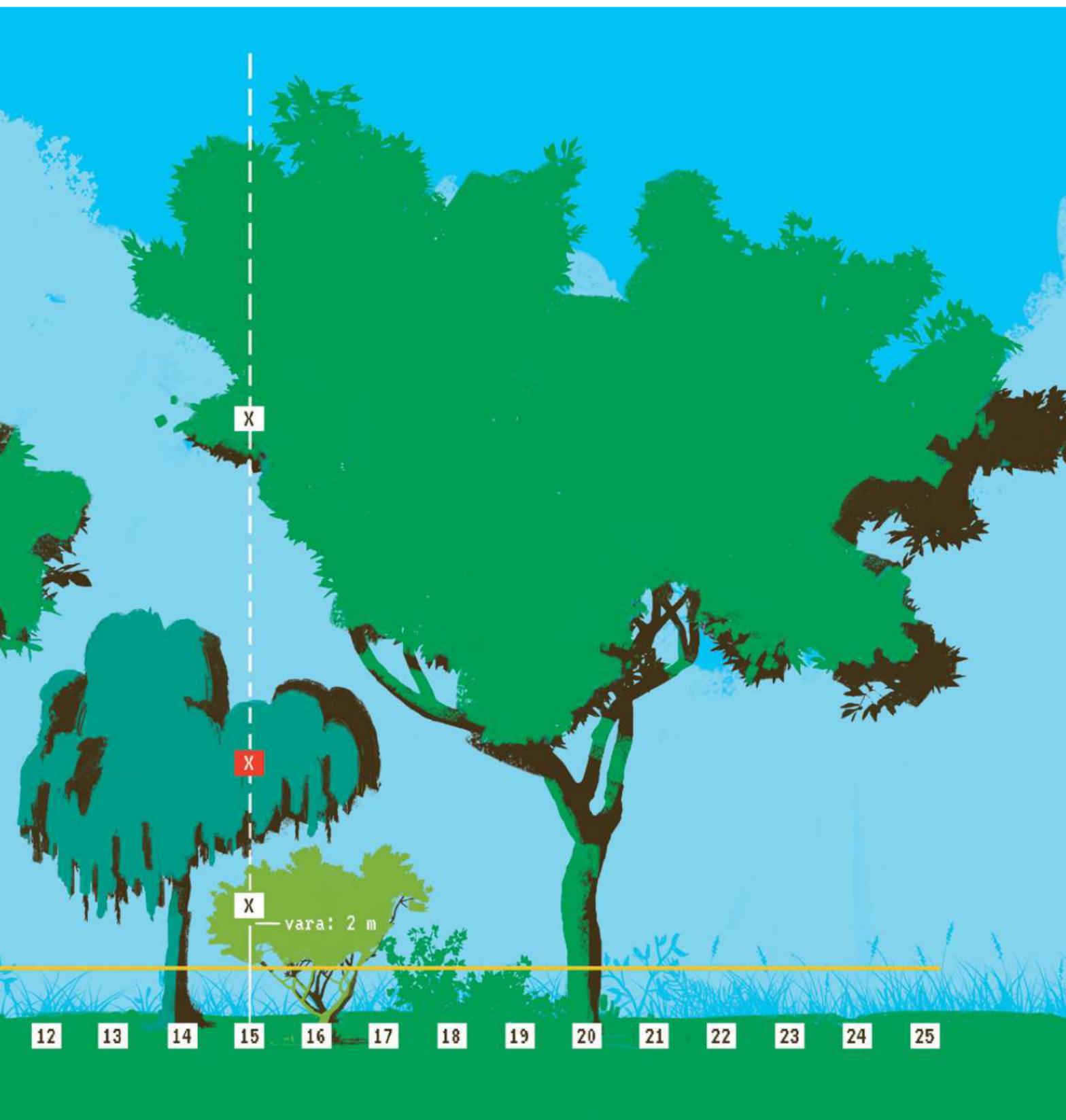
A Resolução SMA nº32/2014 traz para as fisionomias de florestas três indicadores: cobertura de 80% de copas de árvores; densidade de 3.000 árvores regenerantes por hectare (>50 cm de altura e <15 cm de CAP) e riqueza de ao menos 30 espécies de árvores regenerantes. A cobertura de 80% de copas indica que (i) o sombreamento controlou gramíneas invasoras, (ii) dispersores de sementes são atraídos e (iii) a qualidade do habitat para a colonização e o estabelecimento de espécies de sucessão avançada. Uma vez que a cobertura do dossel é frequentemente avaliada em conjunto com densidade e riqueza de regenerantes (árvores abaixo do dossel), é importante diferenciar “dossel” de “copas”. As copas das árvores estão presentes desde os poucos meses de vida, e podem ser medidas para cada indivíduo. Porém, a cobertura de dossel deve ser exclusiva de árvores que formam um dossel, que está acima dos regenerantes (árvores abaixo do dossel) (SOUSA; VIEIRA, 2018). O limite de altura de 2 m para diferenciar as árvores de dossel e abaixo do dossel é recomendável para áreas em restauração entre 2 e 10 anos, sujeitas ao monitoramento de indicadores de futuro (ou de previsão de sucesso), como os usados nos estados de São Paulo, Mato Grosso, Rio de Janeiro e o Distrito Federal. Uma vez que há a possibilidade de recomposição com espécies exóticas na reserva legal e área de preservação permanente (arts.66, §3º, inc.II, e art.61-A, §13, respectivamente da Lei de Proteção da Vegetação Nativa), é recomendável que a anotação por ponto seja feita para espécies do dossel nativas e exóticas.

5.3.3.1 Método de interceptação de pontos em linha

No método de interceptação de pontos em linha, ao longo de uma trena de 25 m, uma vareta (máximo 2 cm de diâmetro) com 2 m de altura é disposta perpendicularmente

Figura 6
Exemplo da
coleta de dados
em uma parcela
para cobertura
de copas em
formação florestal.





ao solo, a cada 1 m da trena, iniciando no metro 1, totalizando 25 pontos de coleta. Ao posicionar a vareta nos pontos a cada 1 m, olhando para cima, é anotado se há copas de árvores acima de sua extremidade (projeção da vareta acima de 2 m) (**Figura 6**). A porcentagem dos pontos que apresentaram copas corresponde à cobertura do dossel (SOUSA; VIEIRA, 2018).

Um ponto pode projetar: (a) nenhuma copa; (b) copa(s) de árvore nativa; (c) copa(s) de árvore exótica (espontânea ou cultivada). Se num ponto, acima de 2 m (projetado pela mira da vareta), houver copas de árvores nativas e exóticas, as duas colunas deverão ser anotadas. A coluna “Cobertura total (Nativa ou exótica)” deverá ser anotada se houver pelo menos uma das duas colunas marcadas. Ao final, são anotadas na linha “Soma” a quantidade de pontos que tocam as copas em cada uma das três colunas. Em seguida, são anotados na linha “Cobertura (%)” a divisão dos valores encontrados na linha Soma pelo número total de pontos (25), multiplicando então por 100. A amostragem é registrada conforme a planilha de campo contida na **Tabela 5**. A **Tabela 5** demonstra o preenchimento do exemplo ilustrado na **Figura 6**.

Tabela 5
Anotação dos dados coletados no caso estabelecido na Figura 6.

PONTO	SEM COPA	COPA DE NATIVA	COPA DE EXÓTICA	COPA TOTAL
1	X			
2		X		X
3		X		X
4		X		X
5		X		X
6		X		X
7		X		X
8		X		X
9		X		X
10		X		X
11		X		X
12		X	X	X
13		X	X	X
14		X	X	X
15		X	X	X
16		X	X	X
17		X	X	X
18		X		X
19		X		X

PONTO	SEM COPA	COPA DE NATIVA	COPA DE EXÓTICA	COPA TOTAL
20		X		X
21		X		X
22		X		X
23		X		X
24		X		X
25		X		X
SOMA	1	24	6	24
(%)	4	96	24	96

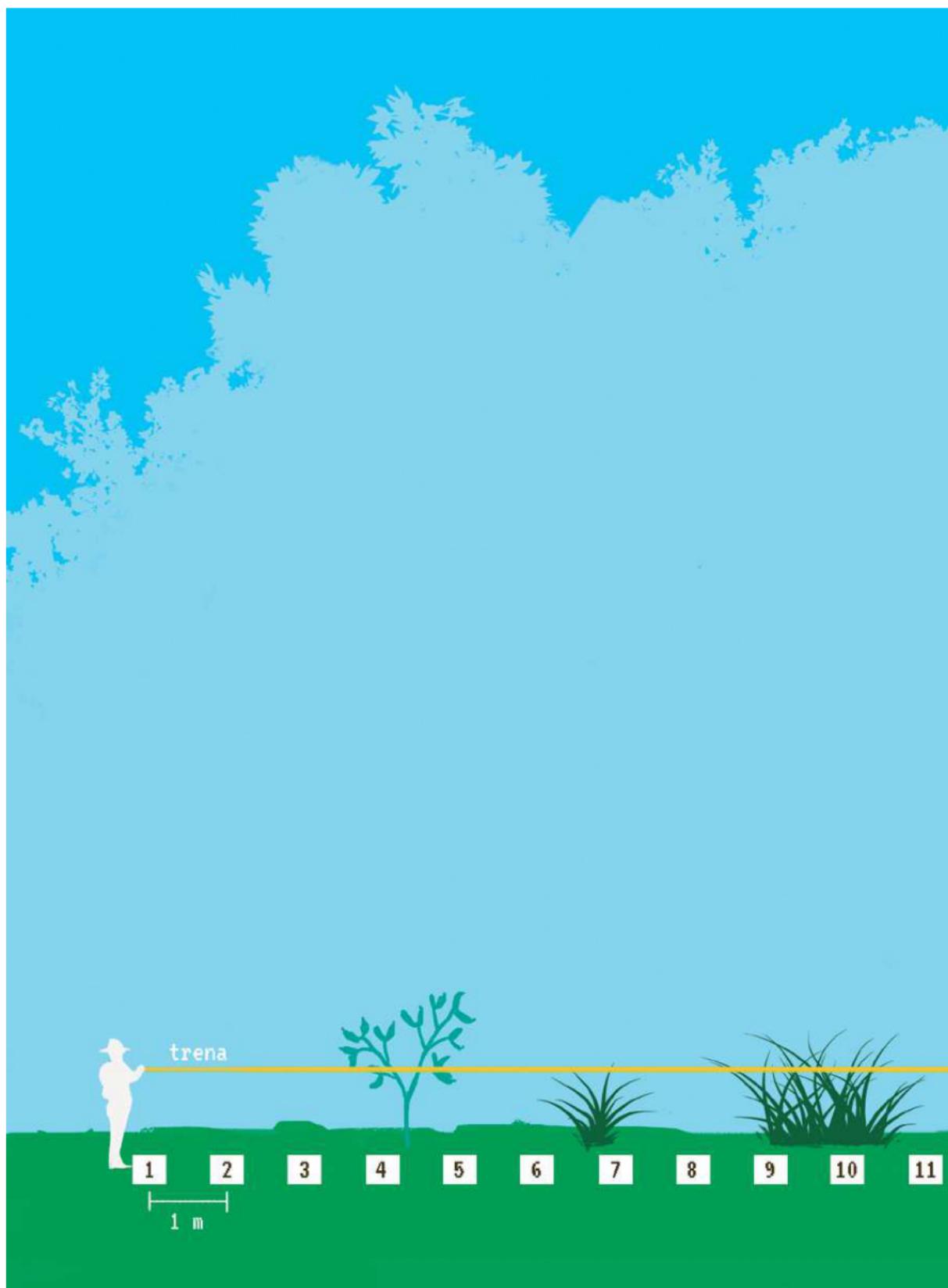
5.3.4 COBERTURA DO SOLO POR FORMAS DE VIDA

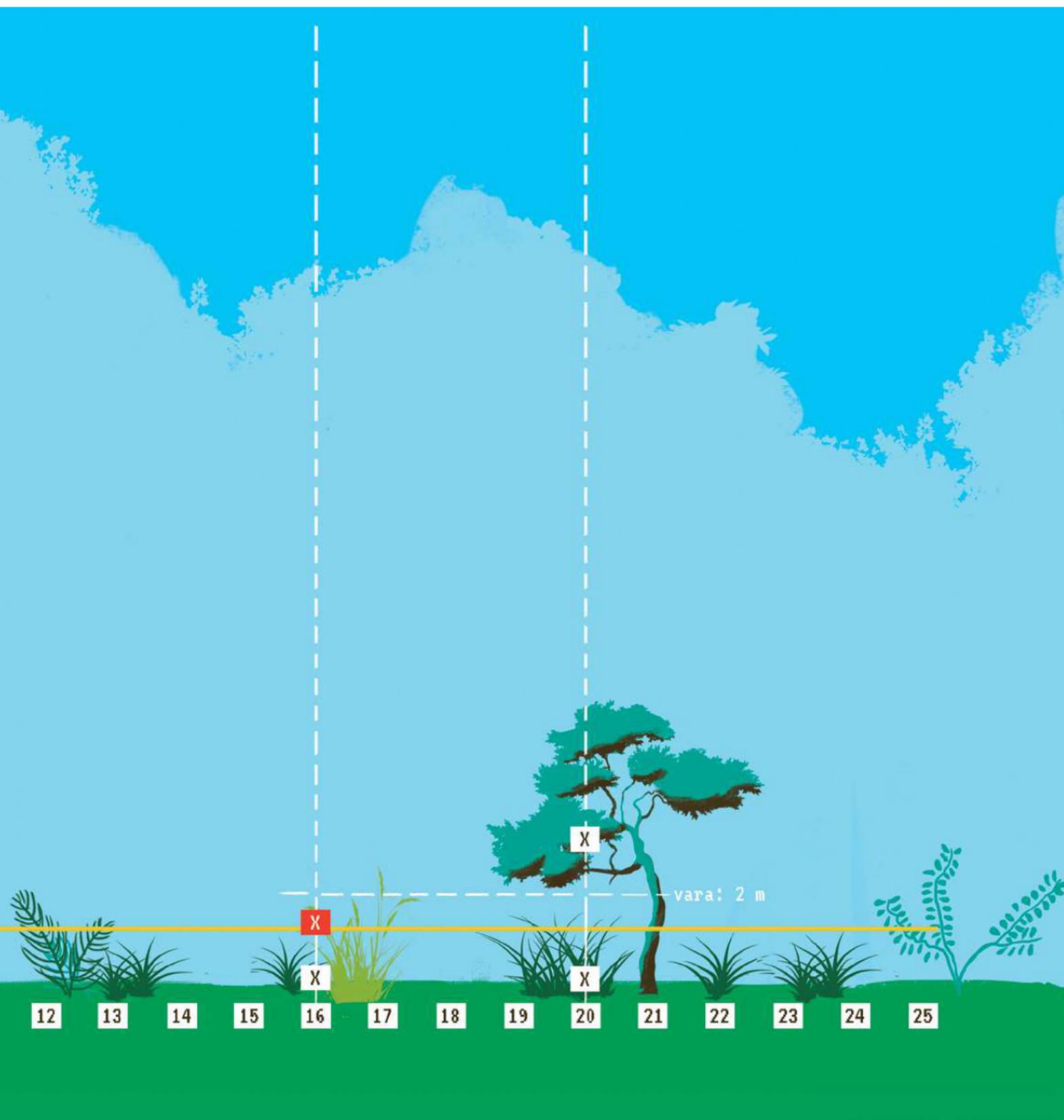
A cobertura do solo por diferentes formas de vida é medida pela proporção da área monitorada coberta por formas de vida desejáveis (por exemplo árvores), indesejáveis (por exemplo capins exóticos) e solo exposto. Essa medida é relevante no início do processo de restauração, quando se espera a contínua ocupação do espaço por copas de árvores, ou para verificar o insucesso da Restauração de Ecossistemas, ao detectar solo exposto (princípios de erosão) e infestação da área por capins exóticos ou outras invasoras. Na cobertura do solo por forma de vida, a altura em que as plantas tocam a vareta pode ser anotada, gerando mais informação de estratificação, porém demandando mais esforço. Quando a altura não é anotada (como no exemplo da **Tabela 6**), é simples registrar a forma de vida mais alta a cada ponto de observação, trazendo melhor correspondência com o sensoriamento remoto. As formas de vida que cobrem o solo podem ser divididas de acordo com o objetivo. Por exemplo, é possível diferenciar apenas vegetação exótica de vegetação nativa, ou árvores nativas, árvores exóticas, arbustos, ervas, e capins exóticos. Para a Restauração de Ecossistemas, este último exemplo é mais apropriado, tanto para manejo das áreas em restauração, quanto para o monitoramento do sucesso. Quanto mais classes de cobertura, mais informações ecológicas a amostragem dará, considerando ainda que é possível agrupar tipos de cobertura posteriormente, no momento da análise dos dados (SOUSA; VIEIRA, 2018).

5.3.4.1 Método de interceptação de pontos em linha

No método de interceptação de pontos em linha (SOUSA; VIEIRA, 2018), ao longo de uma trena de 25 m, uma vareta (máximo 2 cm de diâmetro) com 2 m de altura é disposta perpendicularmente ao solo, a cada 1 m da trena, iniciando no metro 1, totalizando 25 pontos de coleta. Neste exemplo, a cobertura de vegetação será avaliada nas

Figura 7
Exemplo da
coleta de dados
em uma parcela
para cobertura
do solo por
formas de vida.





classes: sem vegetação (ou solo exposto), nativa lenhosa, nativa herbácea (inclui capins nativos) e vegetação exótica (espontânea ou cultivada). Ao longo da trena, a vareta é posicionada a cada 1 m e anotados os tipos de cobertura que tocam a vareta em sua extensão desde o solo (0-2 m) e sua projeção (> 2 m). A vareta toca vegetação nativa lenhosa, nativa herbácea, capins nativos e vegetação exótica, que podem ocorrer juntos no mesmo ponto, na extensão da vareta ou na sua projeção (**Figura 7**). A **Tabela 6** contém os dados coletados no caso estabelecido na **Figura 7** em uma planilha de campo.

A coluna Nativa Total deverá ser anotada se houver pelo menos uma coluna marcada para as nativas (lenhosa e herbácea). Também são anotados os pontos que tocam plantas exóticas. A coluna Sem Vegetação deve ser anotada quando no ponto não houver toque de vegetação na vareta.

Tabela 6
Anotação dos dados coletados no caso estabelecido na Figura 7.

PONTO	SEM VEGETAÇÃO	NATIVA LENHOSA	NATIVA HERBÁCEA	NATIVA TOTAL	EXÓTICA (ESPONTÂNEA OU CULTIVADA)
1	X				
2	X				
3	X				
4		X		X	
5		X		X	
6			X	X	
7			X	X	
8	X				
9			X	X	
10			X	X	
11			X	X	
12		X		X	
13		X	X	X	
14			X	X	
15					
16			X	X	X
17					X
18	X				
19		X	X	X	
20		X	X	X	

PONTO	SEM VEGETAÇÃO	NATIVA LENHOSA	NATIVA HERBÁCEA	NATIVA TOTAL	EXÓTICA (ESPONTÂNEA OU CULTIVADA)
21		X		X	
22		X	X	X	
23			X	X	
24			X	X	
25		X			
SOMA	5	9	13	17	2
(%)	19%	35%	50%	65%	8%

O cálculo da cobertura deverá ser feito para cada uma das categorias de cobertura (Sem Vegetação, Lenhosa Nativa, Herbácea Nativa, Exótica e Nativa Total (lenhosa e herbácea)).

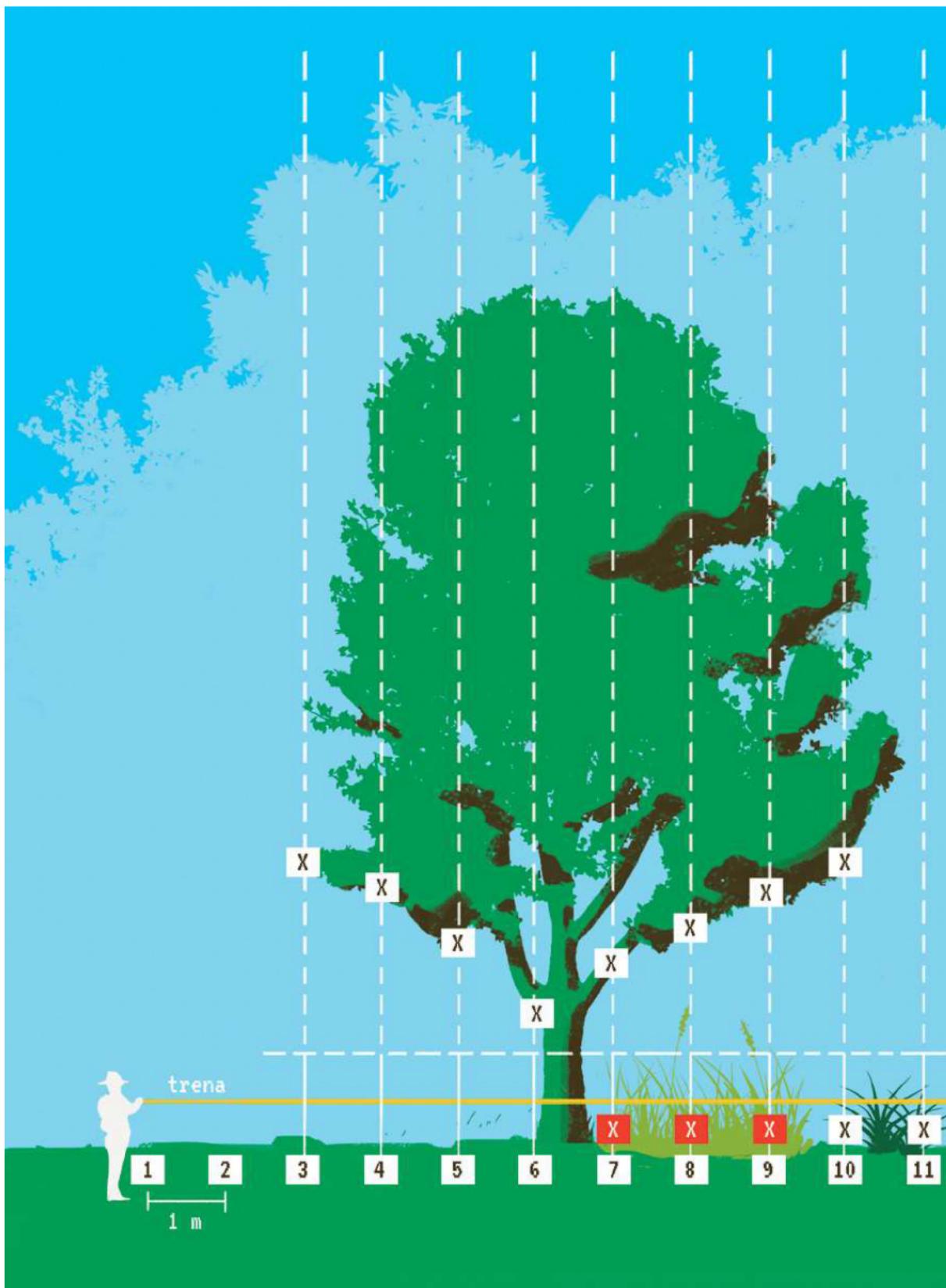
5.3.5 COBERTURA POR FORMAS DE VIDA POR ESTRATOS (ESTRATIFICAÇÃO)

A cobertura de formas de vida por estratos se assemelha à cobertura por formas de vida descrita acima, mas os tipos de cobertura são anotados em diferentes classes de altura. A anotação por classe de altura permite avaliar a estratificação da floresta em formação. Essa avaliação é pertinente a partir dos 3 anos (ou mais) de restauração, quando já há estratificação. As classes de altura de observação dependem do objetivo e da fase da restauração; podem ser a cada metro. A altura máxima de estratificação dependerá da altura da régua e do alcance dos olhos do observador, que possivelmente não ultrapassará 5 m. Uma maneira simples e informativa para indicar cobertura de dossel e abaixo do dossel é dividir as classes em abaixo de 2 m de altura (abaixo do dossel) e acima de 2 m (dossel) (VIEIRA et al., 2017).

5.3.5.1 Método de interceptação de pontos em linha

No método de interceptação de pontos em linha, ao longo de uma trena de 25 m, uma vareta (máximo 2 cm de diâmetro) com 2 m de altura é disposta perpendicularmente ao solo, a cada 1 m da trena, iniciando no metro 1, totalizando 25 pontos de coleta. Neste exemplo, a cobertura de vegetação será avaliada nas classes: sem vegetação, árvores e arbustos nativos, árvores e arbustos exóticos, e capins exóticos. Ao longo da trena, a vareta é posicionada a cada 1 m e anotados os tipos de cobertura que tocam a vareta em sua extensão desde o solo (0-2 m) e sua projeção (> 2 m), anotando-se em

Figura 8
Exemplo da coleta de dados em uma parcela para cobertura do solo por formas de vida em dois estratos.



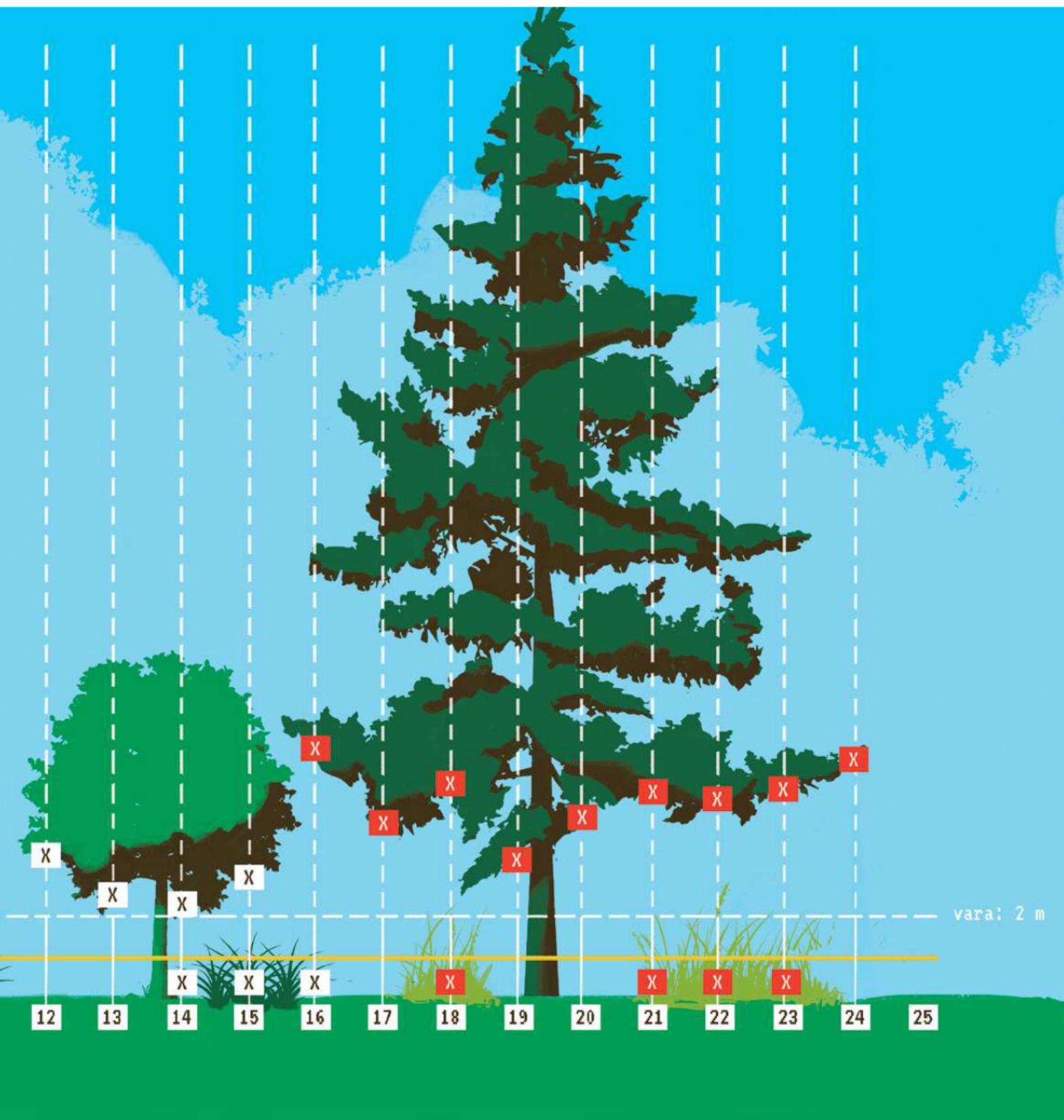


Tabela 7
Anotação dos dados coletados no caso estabelecido na Figura 8.

células diferentes para cada classe de altura (neste exemplo; pode haver interesse em mais classes de altura) (VIEIRA et al., 2017). A vareta pode tocar simultaneamente todos os tipos de cobertura nas duas classes de altura (**Figura 8**). A **Tabela 7** contém os dados coletados no caso estabelecido na **Figura 8** em uma planilha de campo.

PONTO	CLASSE DE ALTURA	SEM VEGETAÇÃO	ÁRVORES E ARBUSTOS NATIVOS	ÁRVORES E ARBUSTOS EXÓTICOS	CAPINS EXÓTICOS	CAPINS NATIVOS
1	<2M	X				
1	>2M	X				
2	<2M	X				
2	>2M	X				
3	<2M	X				
3	>2M		X			
4	<2M	X				
4	>2M		X			
5	<2M	X				
5	>2M		X			
6	<2M	X				
6	>2M		X			
7	<2M				X	
7	>2M		X			
8	<2M				X	
8	>2M		X			
9	<2M				X	
9	>2M		X			
10	<2M					X
10	>2M		X			
11	<2M					X
11	>2M	X				
12	<2M	X				
12	>2M		X			
13	<2M	X				
13	>2M		X			
14	<2M					X

PONTO	CLASSE DE ALTURA	SEM VEGETAÇÃO	ÁRVORES E ARBUSTOS NATIVOS	ÁRVORES E ARBUSTOS EXÓTICOS	CAPINS EXÓTICOS	CAPINS NATIVOS
14	>2M		X			
15	<2M					X
15	>2M		X			
16	<2M					X
16	>2M			X		
17	<2M	X				
17	>2M			X		
18	<2M				X	
18	>2M			X		
19	<2M	X				
19	>2M			X		
20	<2M	X				
20	>2M			X		
21	<2M				X	
21	>2M			X		
22	<2M				X	
22	>2M			X		
23	<2M				X	
23	>2M			X		
24	<2M	X				
24	>2M			X		
25	<2M	X				
25	>2M	X				
SOMA	<2	13	0	0	7	5
SOMA	>2	4	12	9	0	0
% COBERTURA	<2	52%	0%	0%	28%	20%
% COBERTURA	>2	16%	48%	36%	0%	0%

5.3.6 ÁREA BASAL

É a soma das áreas de seções transversais (sentido horizontal) de troncos em uma parcela, convertida para área basal/ha. A área basal de cada árvore na parcela é obtida convertendo-se a CAP ou o DAP ao correspondente valor da área (SOARES; NETO; SOUZA, 2006). É uma variável relacionada com o estoque de biomassa e carbono e, em condições em que equações regionais de biomassa ou carbono não estão disponíveis, sua fácil medição pode ser usada como um proxy dessas variáveis para fins de avaliação. Porém, há equações de biomassa e carbono formuladas apenas com área basal. A área basal é calculada conforme critérios definidos pelo responsável do projeto, podendo envolver, por exemplo, árvores com $\geq 1,3$ m de altura, >0 cm de DAP, ou >5 cm de DAP ou >10 cm de DAP. Independente do critério adotado para cálculo da área basal, a medição do CAP ou DAP no campo deve levar em consideração alguns aspectos do crescimento e arquitetura da árvore para minimizar erros de amostragem (**Figura 9**).

5.3.7 DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA

É a distribuição de frequência de classes de diâmetro de fustes (troncos) na parcela ou no conjunto de parcelas de um polígono. A distribuição diamétrica é uma impressão digital da floresta em observação, indicando bem o estágio sucessional, o tipo de restauração, e a densidade de regenerantes que garantirão sustentabilidade para a área em restauração.

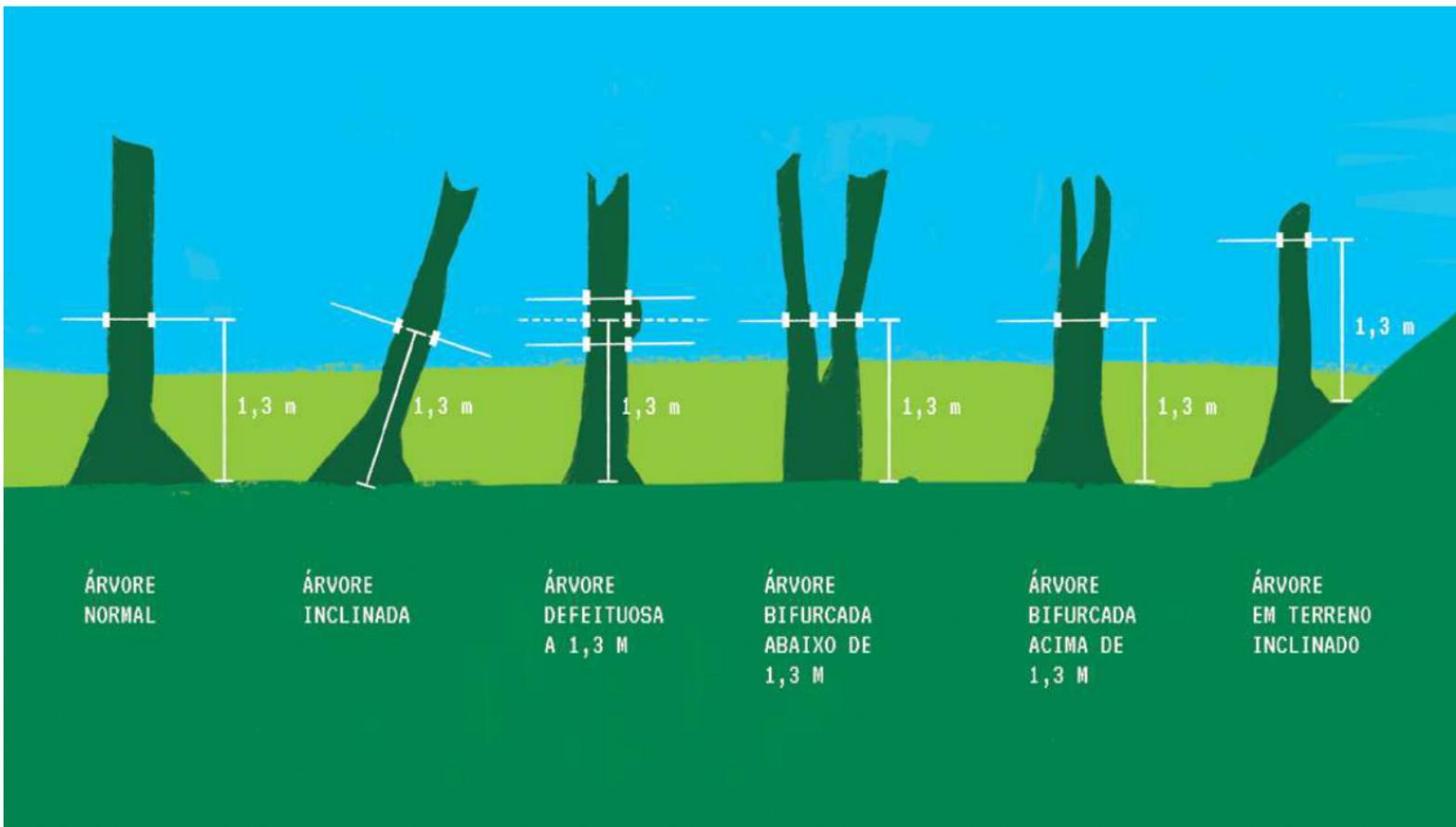


Figura 9
 Procedimentos para medição da circunferência à altura do peito (CAP) de árvores para minimizar erros decorrentes da amostragem.

Mede-se a distribuição diamétrica da mesma maneira que a área basal, ou seja, a partir do CAP ou DAP. Porém, para estimativa de área basal, biomassa e carbono, são medidas árvores conforme critério adotado pelo responsável pelo projeto, por exemplo, >5 cm, ou >10 cm (DAP). Para a distribuição diamétrica é relevante a medida de todas as árvores que alcançam 1,30 m de altura, e que possam ter o DAP medido, podendo ser utilizadas subparcelas para medição de indivíduos com, por exemplo, DAP < 5 cm (ver subparcelas na seção 5.5.2). Desta maneira, são incluídas na medição as árvores abaixo do dossel, o que torna essa variável indicativa, especialmente em floresta em restauração mais velhas e estruturadas, da existência de árvores menores compondo um estrato de regeneração ou um sub-bosque.

A partir dos diâmetros das árvores medidas é gerado um histograma de distribuição desta variável (**Figura 10**). O número de classes de diâmetro no histograma pode ser definido arbitrariamente ou usando procedimentos estatísticos conhecidos. Uma sugestão é incluir uma classe de árvores com DAP < 5 cm, que possa representar o estrato de árvores menores, regenerantes ou de espécies tipicamente de sub-bosque.

5.3.8 DENSIDADE DE ÁRVORES NATIVAS ABAIXO DO DOSSEL

A densidade de árvores abaixo do dossel (**Figura 11**), também chamada de densidade de regenerantes, indica se há árvores para substituir as árvores de dossel quando elas morrerem, e se há espécies de sub-bosque.

A densidade de árvores abaixo do dossel pode ser verificada utilizando as menores classes da distribuição diamétrica, por exemplo < 5 cm de DAP. Os PRAs de alguns estados utilizam uma classe de altura (ou altura mínima e diâmetro máximo) das árvores para determinar o que são regenerantes. São Paulo utiliza árvores >50 cm de altura e < 5 cm de DAP. Mato Grosso e o Distrito Federal utilizam >30 cm de altura e <200 cm de altura para fisionomias florestais; árvores maiores que 200 cm de altura são contabilizadas na cobertura do dossel.

5.4 BIOMASSA E CARBONO DA COMUNIDADE DE ÁRVORES

Conforme Sanquetta et al. (2004), existem duas abordagens para a quantificação da biomassa e carbono no compartimento florestal. O primeiro trata da quantificação de forma indireta, onde o uso de equações alométricas existentes é a abordagem mais utilizada. O segundo, trata da quantificação direta, onde existe a retirada, pesagem e processamento das amostras em laboratório.

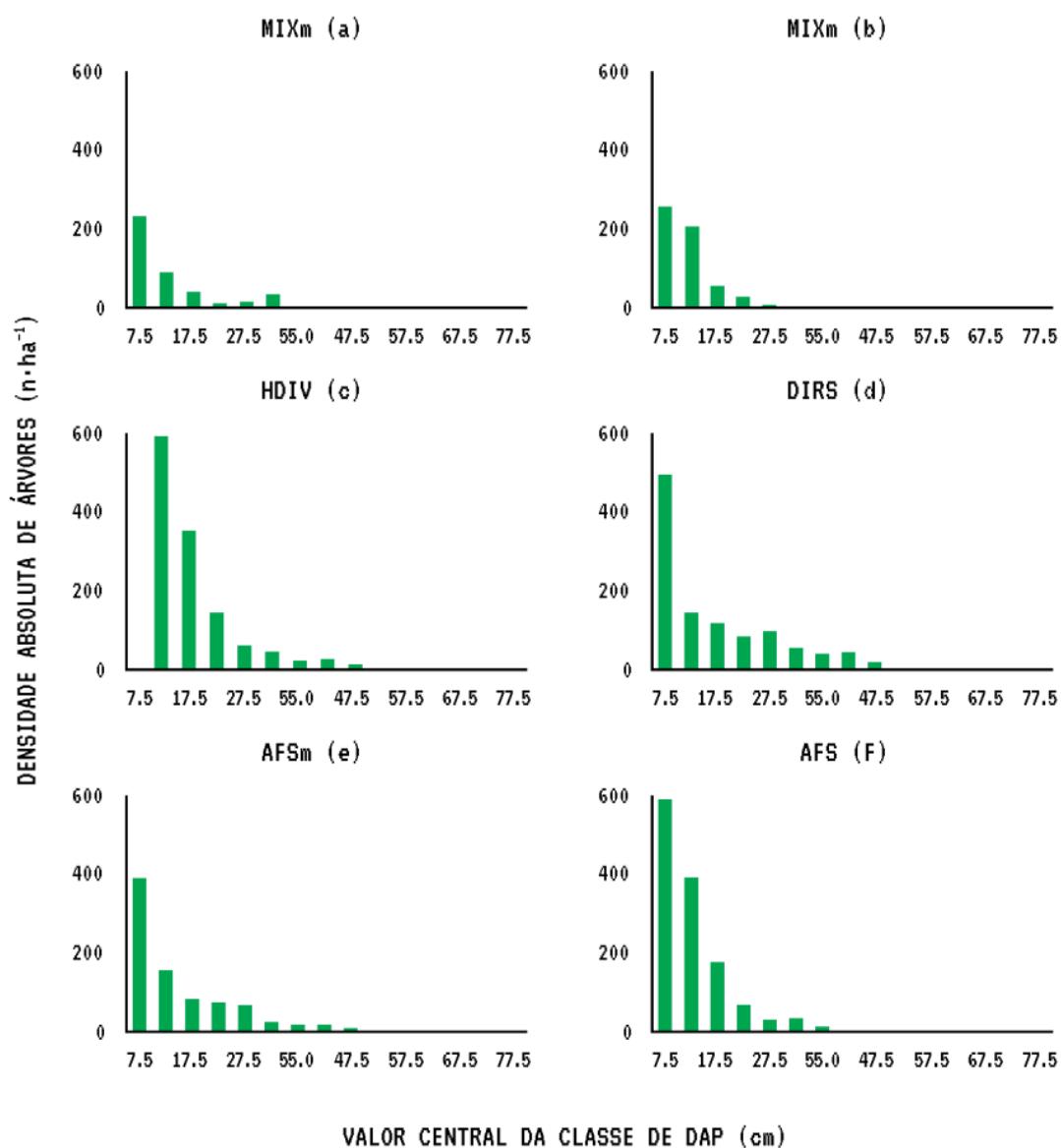


Figura 10
 Densidade absoluta de árvores (n·ha⁻¹) como função de classes de DAP em diferentes sistemas de restauração numa floresta tropical semidecídua depois de 19 a 20 anos de plantio em Botucatu, São Paulo. Legendas: (a) MIXm ('managed' commercial mixed plantation, ou plantios comerciais manejados), (b) MIX (commercial mixed plantation), (c) HDIV (high-diversity tree plantation, ou plantio de alta diversidade de árvores), (d) DIRS (direct seeding, ou semeadura direta), (e) AFSm ('managed' agroforestry system, ou sistema agroflorestal manejado), (f) AFS (agroforestry system, ou sistema agroflorestal). Análises realizadas em sítios agrupados. Fonte: Pontes, Engel e Parrotta (2019).

Figura 11
Exemplo de parcela e amostragem de densidade e riqueza de regenerantes.

12 TOTAL DE INDIVÍDUOS

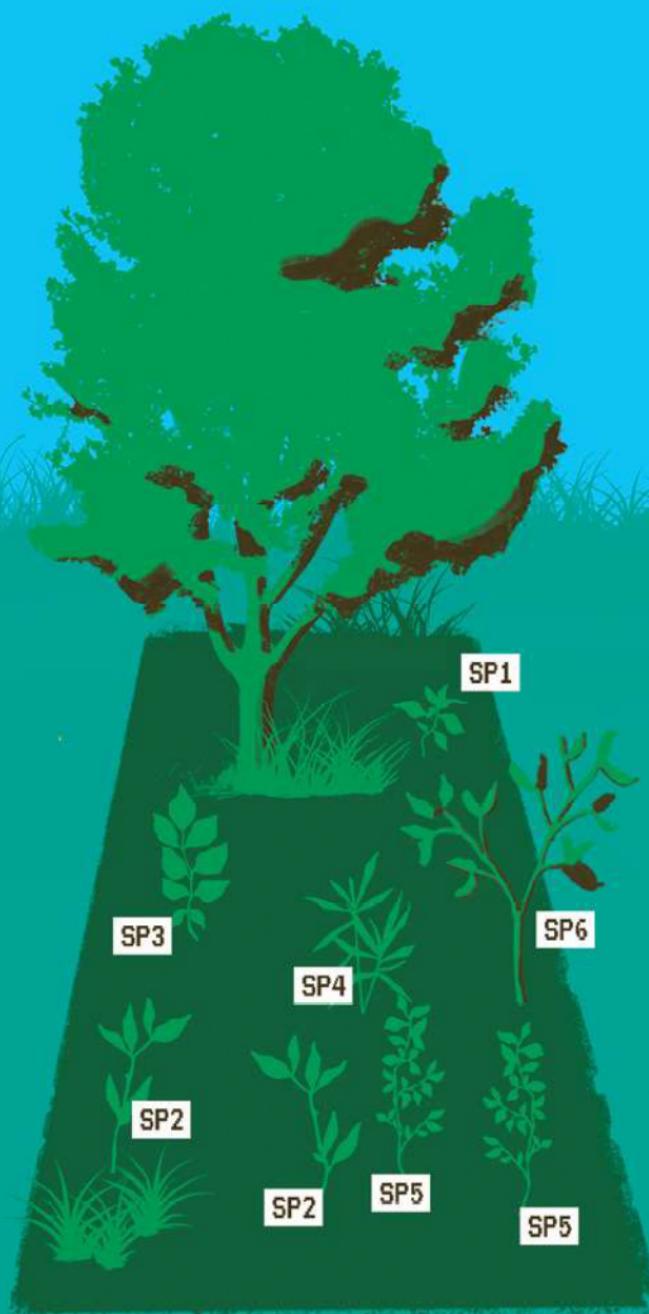
6 TOTAL DE ESPÉCIES



PARCELA **1**

4 INDIVÍDUOS REGENERANTES

2 ESPÉCIES



PARCELA **2**

8 INDIVÍDUOS REGENERANTES

6 ESPÉCIES

5.4.1 USO DE EQUAÇÕES ALOMÉTRICAS EXISTENTES

A biomassa de uma árvore pode ser calculada considerando apenas a parte aérea ou estimada para a biomassa total (ou seja, considerando também a biomassa abaixo do solo, representada pelo compartimento das raízes). Geralmente, quando adota-se equações, previamente desenvolvidas, elas relacionam parâmetros morfométricos da árvores, quer seja: altura, diâmetro do tronco (ao nível do solo, a 30 cm ou a 1,3 m) e densidade da madeira da árvore (VIEIRA et al., 2008). Para o monitoramento da Restauração de Ecossistemas, isto é feito, na maioria dos casos, aplicando-se equações já existentes e previamente desenvolvidas a partir do método destrutivo.

Há equações globais, aplicadas para todas as florestas tropicais sem levar em consideração a identidade da espécie, e outras regionais, desenvolvidas para serem usadas na Mata Atlântica ou suas subformações e que consideram a densidade da madeira da espécie como uma variável de entrada (VIEIRA et al., 2008). Há equações desenvolvidas para florestas secundárias ou conservadas (VIEIRA et al., 2008) e outras especificamente para plantios de Restauração de Ecossistemas (MIRANDA, 2008), onde árvores são, por exemplo, geralmente mais ramificadas.

A escolha da equação alométrica mais adequada a uma área é uma tarefa essencial para melhor estimativa de biomassa de áreas em restauração. Nas avaliações de campo, sempre que possível, devem ser priorizadas equações alométricas regionais obtidas na mesma formação fitogeográfica e para sítios cuja idade da floresta e técnica de restauração (ativa ou passiva) é similar ao do sítio em monitoramento.

Caso não haja uma equação de biomassa desenvolvida na mesma região e com características similares de restauração (manejo, tempo de projeto, etc.), abaixo são apresentados exemplos de equações alométricas existentes que podem ser utilizadas na Mata Atlântica. Essas equações, abordadas em Vieira et al. (2008), Miranda (2008), Ferez et al. (2015), Chave et al. (2014) e Zanini (2018), possibilitam o cálculo da biomassa em projetos de restauração a partir de dados coletados por inventários florestais.

$$\text{BAS} = 0,0673 \times (d \times \text{DAP}^2 \times H)^{0,976} \quad (5.1)$$

(CHAVE et al., 2014)

$$\text{BAS} = \exp[-1,803 - 0,976E + 0,976\ln(d) + 2,673\ln(\text{DAP}) - 0,0299[\ln(\text{DAP})]^2] \quad (5.2)$$

(CHAVE et al., 2014)

$$\text{BAbs} = \exp[-1,085 + 0,926 \times \ln(\text{BAS})] \quad (5.3)$$

(CAIRNS et al., 1997)

$$\text{BAS} = 29,126 - 4,519 \times \text{DAP} + 0,054 \times \text{DAP}^2 + 0,569 \times \text{DAP} \times \text{Ht} - 0,005 \times \text{DAP}^2 \times \text{Ht} \quad (5.4)$$

(ZANINI, 2018)

$$\ln(\text{BLAS}) = 6.039 + 0.945 \times \ln(\pi \times (\text{DAP}/2)^2) + 0.961 \times \ln(\text{Ht}) + 1.022 \times \ln(d) \quad (5.5)$$

(FEREZ et al., 2015)

Onde: BAS é biomassa acima do solo, BAbs é biomassa abaixo do solo, BLAS é biomassa lenhosa acima do solo (desconsidera biomassa de folhas), DAP é Diâmetro à Altura do Peito (1,3 m acima do solo), d é a densidade da madeira da espécie (verificar o valor da espécie num banco de dados), Ht é altura total da árvore, E é o coeficiente de estresse ambiental (necessário verificar o valor numa tabela), "e" é o número de euler (aproximadamente 2,71828), pi = 3,14159.

Recomenda-se a equação 5.1 (CHAVE et al., 2014) quando se dispõe de restauração em estágio avançado na Mata Atlântica e de DAP e Ht obtidos por inventário florestal. Já a Equação 5.2, também presente em Chave et al. (2014), deve ser utilizada quando se dispõe de restauração em estágio avançado na Mata Atlântica e apenas o DAP medido em campo, o que pode acontecer porque a altura de cada árvore possui limitações de medição via inventários florestais (ver altura nos parágrafos seguintes). Sobre o parâmetro "densidade da madeira" das equações 5.1 e 5.2, seu valor deve ser consultado a partir de tabela disponibilizada por Chave et al. (2006) (ver densidade nos parágrafos seguintes). Caso deseje estimar a biomassa das raízes (abaixo do solo) em restauração em estágio avançado na Mata Atlântica, recomenda-se a equação 5.3 (CAIRNS et al., 1997).

O uso das Equações 5.1 ou 5.2 (CHAVE et al., 2014) é recomendado caso projetos de diferentes características sejam comparados no quesito biomassa. Por se tratarem de equações pantropicais, são essas até o momento as que mais se adequam aos biomas Amazônia e Mata Atlântica de uma forma geral. Chave et al. (2014) registraram a propagação de erro destes modelos, que tornam-se controlados caso seja usada a mesma

equação para comparar projetos em regiões diferentes ou com características diferentes. Em outras palavras, a comparação de biomassa obtida por equações diferentes é inviável devido aos diferentes vieses inerentes a cada modelo. As equações de Chave et al. (2014) são, portanto, as mais indicadas para comparação entre diferentes projetos mesmo no caso de haver uma outra equação que seja mais adequada para uma das áreas.

Outras equações além das de Chave et al. (2014) podem ser usadas para casos mais específicos. Em áreas mais novas (até 5 anos) na Mata Atlântica, a Equação 5.4 (ZANINI, 2018) pode ser utilizada quando informações de densidade da madeira em bancos de dados públicos (ver densidade nos parágrafos seguintes) estão escassas. Dispondo-se de dados de densidade da madeira, é possível utilizar a Equação 5.5 (FEREZ et al., 2015) em restauração da Mata Atlântica com idade de até seis anos. Ressalta-se, no entanto, que a Equação 5.5 desconsidera a biomassa das folhas, sendo necessário calcular a biomassa das raízes (Equação 5.6, conforme Ferez et al. (2015)) e das copas (Equação 5.7, conforme Ferez et al. (2015)) para se calcular a biomassa total ou a biomassa acima do solo (repare que no caso da biomassa acima do solo de Ferez et al. (2015), é necessário somar apenas os resultados das equações 5.5 e 5.7, que correspondem ao fuste e copas).

$$\ln(BR) = -0.288 + 0.742 \times \ln(BLAS) \quad (5.6)$$

(FEREZ et al., 2015)

$$BC = 0,384 + 0,123 \times BLAS - 0,086 \times BR \quad (5.7)$$

(FEREZ et al., 2015)

Onde BLAS é biomassa lenhosa acima do solo conforme Equação 4.5 (desconsidera biomassa de folhas), BR é biomassa das raízes e BC é biomassa da copa.

Sobre a estimativa de biomassa para a Amazônia, é possível utilizar também as equações 5.1 e 5.2 em restaurações em estágio mais avançado. Para estágios menos avançados (árvore com DAP < 29 cm), a Equação 5.8 (NELSON et al., 1999) pode ser utilizada, sendo a Equação 5.9 (NELSON et al., 1999) uma alternativa para os casos de domínio de árvores do gênero *Cecropia* sp.

$$BAS = \exp[-1,9968 + 2,4128 \times \ln(DAP)]/1000 \quad (5.8)$$

(NELSON et al., 1999)

$$BAS = \exp[-2,5118 + 2,4257 \times \ln(DAP)]/1000 \quad (5.9)$$

(NELSON et al., 1999)

Onde: BAS é biomassa acima do solo, DAP é Diâmetro à Altura do Peito (1,3 m acima do solo).

Outras equações de cálculo de biomassa de restaurações de menor idade na Amazônia podem ser verificadas em Sierra et al. (2007). Já o trabalho de Nogueira et al. (2008) possui equações de biomassa para florestas primárias (originais, ou não desmatadas) na Amazônia, mas seu uso só pode ser considerado em restaurações muito avançadas, similares às florestas conservadas.

A equação alométrica fornece a biomassa, um dado importante para integrar a dados de altura de dossel obtidos por LiDAR, o que possibilita o ganho de escala do indicador biomassa (FIGUEIREDO et al., 2016; JUCKER et al., 2017; LAU et al., 2019). Na equação de biomassa, os dados de altura são obtidos por LiDAR, podendo a densidade da madeira ser obtida, por exemplo, a partir de um valor médio das espécies identificadas em campo e o diâmetro a partir de relação alométrica com a altura obtida também pelos dados de campo (GONZÁLEZ-JARAMILLO et al., 2018). Alternativamente, se a altura de dossel medida por LiDAR apresentar alta correlação com os valores de biomassa obtidos a partir dos dados de campo, é possível criar uma equação de cálculo da biomassa que considera dados de altura obtidos por LiDAR (ALMEIDA et al., 2019b). A altura de dossel obtida por fotogrametria também pode ser usada para estimar a biomassa desde que haja um mapeamento preciso do terreno (ZAHAWI et al., 2015; MCNICOL et al., 2021), conforme mostra a seção 7.

Uma vez escolhida a equação de cálculo de biomassa, coletam-se os dados de cada árvore no campo (diâmetro do tronco, altura e espécie, sendo que a espécie possibilitará a obtenção da variável densidade da madeira), exatamente conforme definido pela equação. No caso da densidade da madeira, é muito comum o uso de informações secundárias, dispostas em bancos de dados. Uma vez obtida a biomassa de cada árvore, somam-se as biomassas individuais e tem-se a biomassa da comunidade de árvores em uma dada área. Posteriormente, converte-se para um hectare, considerando a área e o número de unidades amostrais. O estoque de biomassa é normalmente expresso em Mg/ha. Já o incremento anual médio é expresso Mg/ha/ano, dividindo-se o estoque identificado pelo monitoramento pela idade da área em restauração. Mais informações sobre o uso de equações de cálculo de biomassa focada em projetos de restauração, bem como a verificação de outras equações aplicadas em diferentes regiões da Mata Atlântica, ver Metzger (2017).

Como as equações estimam a biomassa, usa-se um fator de conversão correspondente ao teor de carbono da biomassa para, a partir desta, estimar o carbono. Embora esse percentual de teor de carbono possa variar, geralmente considera-se um valor gené-

rico de 0,47, ou seja, que 47% da biomassa é equivalente a carbono (IPCC, 2006). Abaixo estão métodos de medição de densidade da madeira e altura das árvores, variáveis importantes no cálculo da biomassa a partir de dados coletados no campo. Outra variável importante nesse cálculo é o DAP, cuja medição no campo está descrita na seção 5.3.6.

Densidade da madeira: a densidade da madeira é variável entre espécies tropicais mesmo considerando árvores com as mesmas dimensões (PHILLIPS et al., 2019), por isso essa informação contribui para a estimativa mais acurada de biomassa e carbono. O sensoriamento remoto ainda não estima até o momento a densidade da madeira, nem através de correlatos. A densidade da madeira, regida pela NBR 11941 (ABNT, 2003), é amostrada extraindo-se um pequeno volume do lenho com um trado específico, ou por meio do corte e pesagem de volume conhecido de madeira. Há também um método menos invasivo, de utilizar um caule dos ramos terminais, com 1 cm de diâmetro, e calcular a densidade pela massa/volume. Há um banco de dados de densidade de madeira de espécies neotropicais¹, que é frequentemente acessado para uso de dados secundários de densidade de madeira. Para usar o banco de dados, as espécies devem ser identificadas. Quando não há informação para a espécie, valores de densidade média para a família botânica ou da comunidade num todo são utilizados.

Altura das árvores: medir a altura das árvores em que se mede a área basal aumenta a acurácia da estimativa de biomassa e carbono, ao se permitir o cálculo de volume de madeira. A altura das árvores medida em florestas é pouco acurada, pois as régua telescópicas alcançam alturas de até 15 m apenas e são de difícil movimentação e observação na floresta. Clinômetros digitais e hipsômetros, especialmente a laser, são de simples uso, mas podem ser caros e não são precisos, pois a distância do ponto mais alto da copa pode ser diferente da distância do tronco, além de haver muitos pontos cegos em florestas densas. Na prática, clinômetros e hipsômetros digitais dificilmente são empregados em florestas nativas. Portanto, embora importante e em muitos casos é a variável necessária para a estimativa da biomassa via Sensoriamento Remoto, a altura das árvores não é de fácil obtenção com precisão no campo.

5.4.2 DESENVOLVIMENTO DE EQUAÇÕES DE ESTIMATIVA DE BIOMASSA

Alternativamente ao uso de equações já existentes, é possível aplicar o método destrutivo e realizar as quantificações da biomassa das árvores nas áreas que serão monitora-

1 <<https://chave.ups-tlse.fr/ctfswd.htm>>

das, conforme demonstrado em Higa et al. (2014). Embora gere equações mais confiáveis, trata-se de um procedimento caro, laborioso e destrutivo, que causará a perda de árvores no sítio em restauração, portanto, é usado geralmente apenas em contextos específicos de pesquisa e desenvolvimento. Caso deseje obter mais informações também sobre métodos destrutivos de cálculo de biomassa, recomenda-se a leitura de Higa et al. (2014).

5.5 AMOSTRAGEM DE INDICADORES DA ESTRUTURA E BIOMASSA DA VEGETAÇÃO

5.5.1 INTENSIDADE AMOSTRAL

A amostragem da vegetação em cada polígono de recomposição ou agrupamento de polígonos será feita utilizando parcelas amostrais (incluindo linhas para alocar pontos de interceptação, para análise de cobertura do solo e do dossel).

A distribuição das parcelas para amostragem da riqueza de árvores no campo pode ser aleatória, sistemática, ou aleatória estratificada (MANTOVANI et al., 2005). Na amostragem sistemática, as parcelas são dispostas na área previamente à amostragem (geralmente sobre um mapa) considerando um critério prévio, geralmente visando distribuir as parcelas por toda a área em restauração. Na amostragem aleatória estratificada, há uma sistematização dos locais para amostragem e dentro destes locais o posicionamento da parcela é aleatório.

As parcelas de campo podem ser permanentes ou não. As parcelas permanentes são aquelas que são instaladas num local e permitem amostragens futuras. Elas têm a vantagem de permitir a avaliação da variação da riqueza no tempo, excluindo a variação espacial como uma fonte adicional de variação. Se permanentes, é importante que sejam georreferenciadas e demarcadas no campo com estacas ou outros materiais duradouros. Na integração com Sensoriamento Remoto, parcelas fixas têm a vantagem de serem georreferenciadas somente na primeira expedição ao campo. Se possível, é desejável a coleta de coordenadas GNSS precisas (precisão centimétrica) da localização das parcelas.

De acordo com o Protocolo de Monitoramento de Programas e Projetos de Restauração Florestal, desenvolvido pelo Pacto pela Restauração da Mata Atlântica (VIANI et al., 2013), o número de parcelas amostrais deverá variar de acordo com o tamanho da área, sendo necessária a amostragem de cinco parcelas em áreas com até um hectare. Em áreas maiores que um hectare, a cada hectare adicional deve ser feita mais uma parcela (portanto, em uma área de 2 ha haverá seis parcelas, em uma área de 3 ha serão sete parcelas, e assim por diante) até o limite de 50 parcelas. Utilizar um número pré-de-

terminado de parcelas em uma dada área torna o gasto de tempo e recursos do monitoramento mais previsível. Esse método é simples de ser compreendido e não demanda cálculos estatísticos para definição do esforço amostral. Por outro lado, esse método não traz nenhuma informação da confiabilidade dos dados coletados para a área amostrada.

Para promover maior confiabilidade nos dados coletados, é possível lançar mão de métodos estatísticos baseados na amostragem piloto. A amostragem piloto consiste em dados já coletados em campo a partir de uma determinada quantidade de parcelas.

Há dois parâmetros que podem ser avaliados estatisticamente para maior confiabilidade dos dados: (i) número mínimo de parcelas e (ii) erro amostral dos indicadores avaliados. O número mínimo de parcelas é calculado considerando um processo de estabilização do valor n fornecido pela Equação 5.10, aplicada no caso de população finita (sem reposição de amostras, ou seja, uma dada parcela só é amostrada uma vez), e Equação 5.11, aplicada no caso de população infinita (com reposição de amostra). Na prática, considera-se uma população finita quando $n/N > 0,02$ e infinita quando $n/N < 0,02$ (FLORIANO, 2021), sendo n o número de parcelas já avaliadas e N definido conforme Equações 5.10 e 5.11 a seguir.

$$n = \frac{t^2 \times CV^2}{(E\%)^2 + \frac{t^2 \times CV^2}{N}} \quad (5.10)$$

$$n = \frac{t^2 \times CV^2}{(E\%)^2} \quad (5.11)$$

Onde: n é o número mínimo de parcelas, t é valor de t -student (graus de liberdade determinados considerando o número de parcelas amostradas menos 1) a 5% de significância, CV é o desvio padrão dividido pela média do indicador amostrado e multiplicado por 100, $E\%$ é o erro esperado e N o número de parcelas possíveis na área, calculado dividindo-se a área total do projeto de restauração monitorado pela área de uma parcela.

Em monoculturas, o erro esperado (parâmetro $E\%$ da Equação 5.10 e Equação 5.11) é 10%. Já para florestas nativas, tem sido razoável considerar 20% (VIANI et al., 2018). No caso das tipologias descritas neste protocolo (Apêndice C), sugerimos 10% para as tipologias mais homogêneas (monoculturas e consórcios) e 20% para as demais.

Após o cálculo da Equação 5.10 ou Equação 5.11, é necessário fazer a estabilização do n realizando iterações na mesma equação em que o número de parcelas para determinar os graus de liberdade do valor de t -student é substituído pelo n obtido no cálculo anterior até que esse valor se estabilize (o n pare de variar após uma nova iteração).

Em um exemplo fictício, considere uma amostragem piloto de sete parcelas com valor n igual a 15 após aplicação da Equação 5.10 (iteração 1). O novo cálculo deve, neste caso, utilizar 14 graus de liberdade (15-1) para determinação do valor de t -student na Equação 5.10. Suponha que ao utilizar os 14 graus de liberdade, foi obtido novo n igual a 11 (iteração 2). Como o valor de n não se repetiu, a nova iteração da equação deve então utilizar 10 graus de liberdade (11-1) para determinação de t -student. Agora suponha que o resultado desta última iteração foi n igual a 12 (iteração 3). Como novamente n não se repetiu, deve-se então utilizar 11 graus de liberdade (12-1) para o valor de t -student na nova iteração. Supondo-se que desta vez n foi igual a 12 (iteração 4), nota-se uma repetição. Tal repetição de n significa que houve estabilização. Logo, no caso deste exemplo fictício, a estabilização do n foi obtida após 4 iterações da Equação 5.10.

O uso da estabilização do n para definição do número mínimo de parcelas pode aumentar significativamente os custos do monitoramento devido ao considerável aumento da quantidade de parcelas e/ou pela imprevisibilidade inicial do esforço e tempo gasto com o monitoramento. Assim, caso o responsável opte por manter o total de parcelas baseado no método pré-determinado da área da restauração conforme as diretrizes do PACTO (VIANI et al., 2013), é possível verificar o erro amostral para cada indicador já levantado nas parcelas. Neste caso, após levantados os dados num total de parcelas seguindo as diretrizes do PACTO (VIANI et al., 2013), pode-se aplicar a Equação 5.12:

$$E\% = \left(\frac{(S/\sqrt{n}) * \sqrt{(N - n)/(N - 1)} * t}{\bar{X}} \right) * 100 \quad (5.12)$$

Onde $E\%$ é o erro amostral, S é o desvio padrão, n é o número de parcelas feitas, t é valor de t -student (graus de liberdade determinados considerando o número de parcelas amostradas menos 1) a 5% de significância e \bar{X} é a média do indicador.

A aplicação da Equação 5.12 permite verificar se cada indicador ecológico monitorado está com erro amostral menor ou igual ao máximo tolerado. Caso seja necessário aumentar a quantidade de parcelas amostrais em campo para adequação do erro amostral, os novos valores podem ser inseridos na Equação 5.12.

Vale destacar que para cada indicador é gerado um erro amostral e, portanto, o erro aceitável máximo pode ser fixado para a variável de maior relevância no monitoramento. Se o erro obtido for muito grande e o resultado do cálculo indicar a necessidade de instalar muitas parcelas adicionais, é prudente verificar a necessidade de dividir a área em mais de

um polígono (estratificação), conforme especificado no item 5.2, pois a heterogeneidade ambiental de uma área infla o erro amostral (FELFILI; CARVALHO; HAIDAR, 2005).

Realizar o cálculo de esforço amostral considerando um erro aceitável também pode resultar em redução do número de parcelas em áreas homogêneas e gerar uma informação da representatividade e confiabilidade dos dados coletados (VIANI et al., 2018). Por outro lado, exige cálculos da quantidade de parcelas em função de uma amostragem inicial no campo, o que pode aumentar tempo e recursos gastos, além de demandar cálculos estatísticos que podem não ser simples. Para facilitar o cálculo, poderá ser utilizada uma planilha (copie e cole este link no seu navegador: <http://www.pactomataatlantica.org.br/wp-content/uploads/2023/08/Parcelas_erro_Pacto.xlsx>) em que é necessário apenas incluir os valores obtidos do indicador de interesse em cada parcela, o tamanho total da área, o número de parcelas amostradas, o tamanho da parcela e o erro esperado.

5.5.2 PARCELAS PARA AMOSTRAGEM

Em métodos convencionais de campo, sem integração com o Sensoriamento Remoto, é frequente utilizar-se parcelas retangulares ou quadradas de 4 x 25 m (comumente a definida nos protocolos de monitoramento da restauração ecológica criados em diversos estados, vide Lima et al. (2020)) ou ainda 10 x 10 m, 25 x 25 m, 30 x 30 m ou 20 x 50 m.

Porém, ao considerar a integração com o Sensoriamento Remoto, as parcelas devem, idealmente, ser quadradas e grandes, de ao menos 100 x 100 m em florestas maduras na Amazônia, podendo ser de 50 x 50 m em restaurações mais recentes para representar a variabilidade da área. O formato quadrado de parcelas diminui o efeito de borda: uma fonte de erros ocasionada por árvores próximas à parcela de campo - nesta fonte de erros, árvores não analisadas em campo (fuste localizado fora da parcela) acabam envolvidas nos dados de Sensoriamento Remoto porque parte de sua copa se sobrepõem às áreas das parcelas. O conceito de efeito de borda no qual a vegetação mais próxima aos limites da floresta possui algum tipo de interferência (HARRIS, 1988) também deve ser considerado na locação das parcelas: se possível, deve-se evitar a instalação de parcelas próximas aos limites do polígono de restauração.

No entanto, dada: 1) a grande riqueza de árvores em florestas tropicais; 2) o fato de muitas árvores serem raras, ocorrendo em baixa densidade; 3) muitas terem uma distribuição espacial agregada, ou seja, só ocorrem em uma pequena mancha do polígono de restauração, considera-se, de modo geral, que a alocação de parcelas menores, porém mais espalhadas na área e em maior quantidade, é melhor do que parcelas maio-

Tabela 8
Exemplos de tamanhos de parcelas de campo utilizadas para integração com Sensoriamento Remoto.

ARTIGO	TAMANHOS DAS PARCELAS	BIOMA	SENSOR/ PLATAFORMA
D'OLIVEIRA ET AL. (2020)	100X100	AMAZÔNIA	LIDAR EM AVIÃO E EM DRONE
ALMEIDA ET AL. (2019B)	36X22	MATA ATLÂNTICA	LIDAR EM DRONE
ALMEIDA ET AL. (2019A)	50X50 (MAIORIA), 120X20, 250X10, 40X40, 125X20, 60X40	AMAZÔNIA	LIDAR EM AVIÃO
ALMEIDA ET AL. (2020A)	100X100, 70X70	FLORESTA TROPICAL NA COSTA RICA	LIDAR EM DRONE
ZAHAWI ET AL. (2015)	50X50	FLORESTA TROPICAL NA COSTA RICA	RGB EM DRONE

res, mas em menor quantidade, para a amostragem da riqueza (FELFILI; CARVALHO; HAIDAR, 2005). O responsável pelo projeto deve, portanto, avaliar o tamanho de parcela mais adequado ao seu caso concreto, lembrando que a integração com Sensoriamento Remoto recomenda parcelas quadradas. Parcelas quadradas e grandes podem possuir subparcelas para avaliação de indicadores que não necessariamente se integrarão ao Sensoriamento Remoto. A **Tabela 8** traz exemplos de tamanhos de parcelas de campo utilizadas em integração com o Sensoriamento Remoto.

Ainda, considerando que (i) áreas em restauração são frequentemente pequenas na Mata Atlântica², muitas vezes com menos de 30 m de largura, (ii) áreas em restauração são medidas desde o primeiro ano após a restauração, com muitas árvores pequenas e poucas grandes, (iii) há interesse em medir árvores regenerantes como indicadores de futuro, as parcelas devem ser relativamente pequenas e subdivididas para amostragem de diferentes classes de tamanho. Uma medida usual para florestas em restauração é utilizar parcelas de 4 x 25 m para amostrar regenerantes (> 30 cm a 200 cm de altura, ou árvores > 0 cm a < 5 cm de DAP), podendo esse tamanho ser uma subparcela. Segundo Felfili, Carvalho e Haidar (2005), tamanhos das subparcelas devem refletir a composição estrutural e florística dos regenerantes. Assim, árvores maiores são menos densas e ne-

2 Na Amazônia Legal as áreas de restauração podem ser maiores que na Mata Atlântica e ter frequentemente mais de 30 m de largura porque o módulo fiscal é maior e as Reservas Legais devem abranger 80% da área dos imóveis rurais (Lei 12.651/2012). Porém, vale ressaltar que o Censo Agropecuário de 2017 apontou que, no Brasil, 89% dos estabelecimentos rurais possuem menos de 100 hectares (VIEIRA- FILHO; GASQUES, 2020).

cessitam de parcelas maiores, como 25 x 25 m ou, se possível, 30 x 30 m (tamanho do pixel de imagens obtidas pelo satélite Landsat - **Figura 12**). Para áreas restauradas muito estreitas, parcelas de regenerantes podem ser de 2 x 50 m e de árvores maiores de 10 x 50 m. Parcelas longas e estreitas facilitam a montagem da parcela; uma linha central é alocada e um gabarito de 2 m e 5 m é posicionado pelo amostrador ao longo da linha central, dos dois lados, para verificar se as árvores estão dentro da parcela (**Figura 13**).

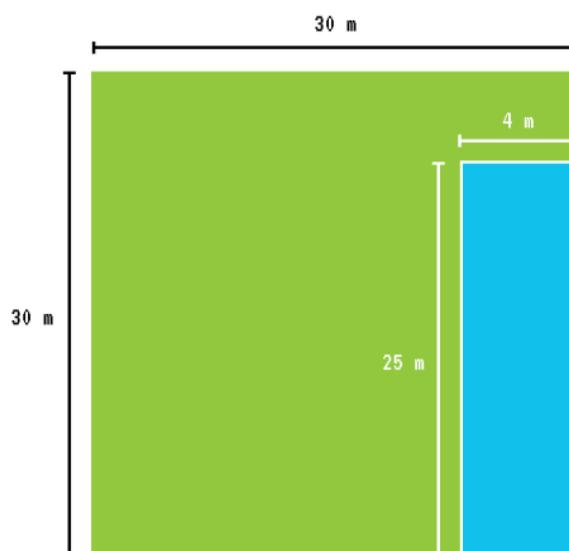


Figura 12
Exemplo de parcela de 30 x 30 m (mesmas dimensões do pixel de imagens obtidas pelo satélite Landsat) com subparcela de 25 x 4 m.

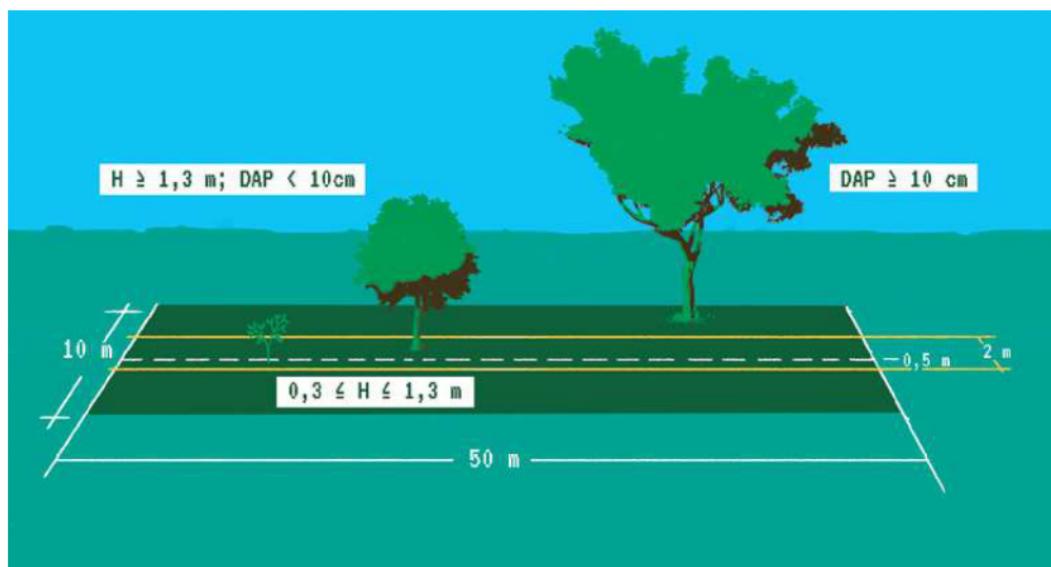


Figura 13
Exemplo de parcela com 10 x 50 m.