



ESALQ

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz
Departamento de Ciências Florestais**

LCF0683 - Colheita e Transporte de Madeira

Sustentabilidade na Colheita de Florestas Tropicais Nativas

Lucas Scardini Moretto - 10756214

Maycon Cristiano Barbosa - 15127701

Raissa Sartori Martins dos Santos - 10755881

**Piracicaba
Dezembro 2023**

Sumário

1. Introdução.....	3
3. Operações de colheita na exploração de impacto reduzido (RIL)	5
3.1 Planejamento e construção de estradas	5
3.1.1 Sistemas de drenagem, erosão e qualidade da água	6
3.1.2 Perturbação terrestre e alocação de estradas.....	8
3.1.3 Uso de materiais rodoviários locais.....	9
3.1.4 Uso e travessias de drenagem (Pontes e bueiros).....	10
3.1.6 Estabilidade de taludes	11
3.2 Abate	12
3.2.1 Pré-corte	13
3.2.2 Corte	13
3.2.3 Erros de corte.....	14
3.2.4 Pós-corte.....	15
3.3 Arraste	15
3.3.1 Compactação do solo	16
4. A colheita de impacto reduzido garante a produção sustentada no longo prazo?.....	18
5. Considerações finais.....	24
6 Bibliografia	26

1. Introdução

A Floresta Amazônica brasileira constitui uma das maiores extensões de florestas tropicais do mundo. Inquestionavelmente, essas florestas nativas oferecem ao mundo serviços ambientais vitais, como a manutenção da biodiversidade, o ciclo da água e as reservas de carbono. Também oferece ao Brasil um considerável potencial comercial, sendo a principal fonte de madeira tropical valiosa (Andrade et al., 2022).

No entanto, o manejo florestal sustentável na Amazônia enfrenta um desafio enorme, considerando a urgente necessidade de equilíbrio entre o crescimento econômico vinculado à silvicultura, a descontinuação de práticas que promovem a degradação dos recursos florestais e a perda de biodiversidade, e os significativos acidentes ocupacionais que frequentemente ocorrem na floresta (Lima et al., 2020).

O manejo florestal envolve práticas de planejamento e exploração florestal que consideram a conservação ambiental, garantindo que a floresta possa fornecer continuamente produtos ou serviços. Esse conceito amplo inclui técnicas específicas para a colheita cuidadosa, onde apenas parte das árvores grandes é colhida, preservando as menores para a próxima colheita.

Na década de 1990, a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) propôs as Técnicas de Exploração com Impacto Reduzido, visando minimizar os impactos na vitalidade florestal durante a exploração de madeira. Essa abordagem surge de preocupações com a manutenção do estoque, regeneração de árvores e qualidade do solo e da água (Putz et al., 2008). Contudo, sistemas de colheita impacto reduzido (RIL, do acrônimo em inglês), por si só, não configura um mecanismo que garanta a sustentabilidade da produção madeireira quando se observa a atividade da óptica de reposição de estoque comercial em relação a intensidade de exploração e danos gerados pelas atividades, como árvores danificadas e abertura de dossel (Sist e Ferreira, 2007), além do mais, a maior parte dos ganhos financeiros deve-se a melhorias operacionais, e não à proteção dos recursos (Macpherson et al., 2012), levando-se ao entendimento que esta atividade deve preconizar as melhores técnicas para uma produção sustentada rentável.

Em 2006, foi promulgada uma lei que regulamenta especificamente a extração de madeira de florestas e as práticas de manejo florestal (Instrução Normativa MMA nº 5 de 11/12/2006). Posteriormente, em 2009, foram divulgadas diretrizes técnicas

para o manejo mecanizado de madeira em florestas de terra firme na Amazônia brasileira (Pokorny, 2009). Desde então, esse trabalho tem sido considerado como um procedimento operacional padrão para essa atividade.

Nas últimas décadas, questões relacionadas à responsabilidade social corporativa têm sido cada vez mais encaradas como uma forma para as empresas florestais aumentarem seus lucros enquanto atendem às demandas de clientes e partes interessadas, respondem à pressão de grupos ambientais e sociais, e cumprindo exigências legais e regulamentações. Uma abordagem crucial para implementar a responsabilidade social corporativa no setor florestal é a certificação, seja com base em normas amplas, como as Normas de Gestão Ambiental ISO 14001 e as Normas de Gestão de Saúde e Segurança Ocupacional ISO 45001, ou por meio de esquemas de certificação florestal, como o Forest Stewardship Council (FSC) e o Programme for the Endorsement of Forest Certification (PEFC). Essas estratégias impõem restrições rigorosas às operações das empresas, uma vez que demandam uma consulta substancial às partes interessadas, incluindo organizações não governamentais ambientais (ONGs), associações industriais e entidades sociais. Atualmente, as empresas também integram a gestão de segurança e saúde ocupacional nas operações gerais da empresa (Johansson, 2014; Schulze et al., 2008).

De maneira geral, a atividade de extração de madeira em florestas tropicais envolve três fases distintas (pré-exploração, exploração e pós-exploração) que são organizadas em atividades e tarefas específicas. As operações de colheita durante a exploração de madeira incluem avaliação, planejamento, construção de estradas, abate, extração e transporte. Por conseguinte, é apresentado no presente trabalho as práticas necessárias para operações de colheita sustentada de madeira em florestas tropicais com base na literatura disponível sobre o tema.

2. Exploração florestal de impacto reduzido em florestas tropicais

Alguns dos principais componentes da RIL são: Inventário pré-colheita e mapeamento de árvores individuais; Planejamento pré-colheita de estradas, trilhas de arraste e desembarques, além da construção de estradas com projetos de engenharia e padrões ambientais específicos para cada área; Planejamento do sistema de transporte para toda a floresta ou área de concessão; Corte pré-colheita da cipós para

minimizar danos à floresta residual; Técnicas apropriadas de queda; Corte baixo dos tocos para minimizar danos e desperdícios, maximizando assim a recuperação da madeira; Guincho de toras para trilhas de arraste; Realização de avaliação pós-colheita das operações para fornecer feedbacks de conformidade e melhorias; Certificar a madeira como resultante de práticas de colheita “verde” (Keller e Berry, 2007).

Ao contrário das florestas temperadas, nos trópicos a exploração madeireira sustentada colhe um volume significativamente menor de produtos por unidade de área, sendo de até 10 indivíduos.ha⁻¹ ou 30 m³.ha⁻¹ contra até 300 m³ em florestas temperadas. Conseqüentemente, tem-se que a área perturbada para colheita de um determinado volume de madeira é substancialmente superior e um dos motivos é a necessidade de uma maior densidade rodoviária (trilhas de arraste e estradas) por unidade volumétrica de madeira extraída (Dykstra e Heinrich, 1996).

A demografia em florestas tropicais também é um fator importante. Como as populações tradicionais estão diretamente envolvidas em atividades de subsistência nestas florestas, um grande número de táxons vegetais são por elas utilizados por oferecerem importantes produtos florestais não madeireiros. Isto é particularmente importante no planejamento da RIL pois deve-se atentar à manutenção destas espécies e buscar estratégias como incentivos governamentais para viabilização desta prática (Wollenberg, 1998).

Práticas de RIL atuam ao nível do planejamento operacional de trilhos de arraste, cortes e transbordo cuidadosamente controlados e reduzindo danos aos solos e árvores residuais visando a manutenção de funções do ecossistema e regeneração do estoque colhido (Dykstra e Heinrich, 1996; Sist, 2000). Estas práticas estão descritas a seguir.

3. Operações de colheita na exploração de impacto reduzido (RIL)

3.1 Planejamento e construção de estradas

O planejamento e construção de estradas, trilhos e pátios em RIL objetiva o acesso e interligação entre unidades de produção anual (UPAs) e destas com as estradas principais, bem como com estradas municipais, estaduais ou federais. O acesso às áreas de colheita e árvores individuais previamente inventariadas deve

preconizar a perturbação mínima do solo, estrutura da floresta e cursos d'água (Sist et al., 1998).

Embora técnicas consolidadas de melhores práticas para construção de estradas existam e sejam um critério e exigência para sistemas de RIL, frequentemente não são empregadas. Os principais problemas decorrentes de estradas florestais mal construídas, mal drenadas ou mal conservadas incorrem principalmente em custos rodoviários desnecessariamente elevados, operações madeireiras ineficientes e impactos ambientais negativos significativos (Keller e Berry, 2007). Considerando o espectro ambiental, social e econômico, os problemas abordados decorrem de estradas com drenagem precária, excessivamente largas, fora de padrões consistentes, materiais e localização inadequados, a consequente necessidade de realocação, colonização, desenvolvimento, exploração predatória de fauna e flora e alteração no uso e ocupação dos solos as margens das de estradas (Keller e Berry, 2007).

Portanto, as seguintes medidas economicamente estratégicas de curto prazo devem ser empregadas na construção de estradas florestais na RIL.

3.1.1 Sistemas de drenagem, erosão e qualidade da água

Medidas de drenagem para remoção do acúmulo de água ou da água concentrada com velocidade de fluxo possuem finalidades econômicas e ambientais. A redução da erosão do solo, redução da necessidade e frequência de manutenção, redução do escoamento superficial de material particulado de revestimento, aumento da velocidade de transporte com redução do seu tempo e custos, e redução de desgaste de veículos. A drenagem adequada pode ser conseguida através de coroas e abaulamentos bem definidos, bueiros bem alocados (variando de 30 a 150 metros a depender da declividade, tipo de solo e precipitação), uso de depressões ou rampas rolantes (principalmente em estradas secundárias com 8 a 10% de declividade) (Figura 1) (Keller e Berry, 2007).

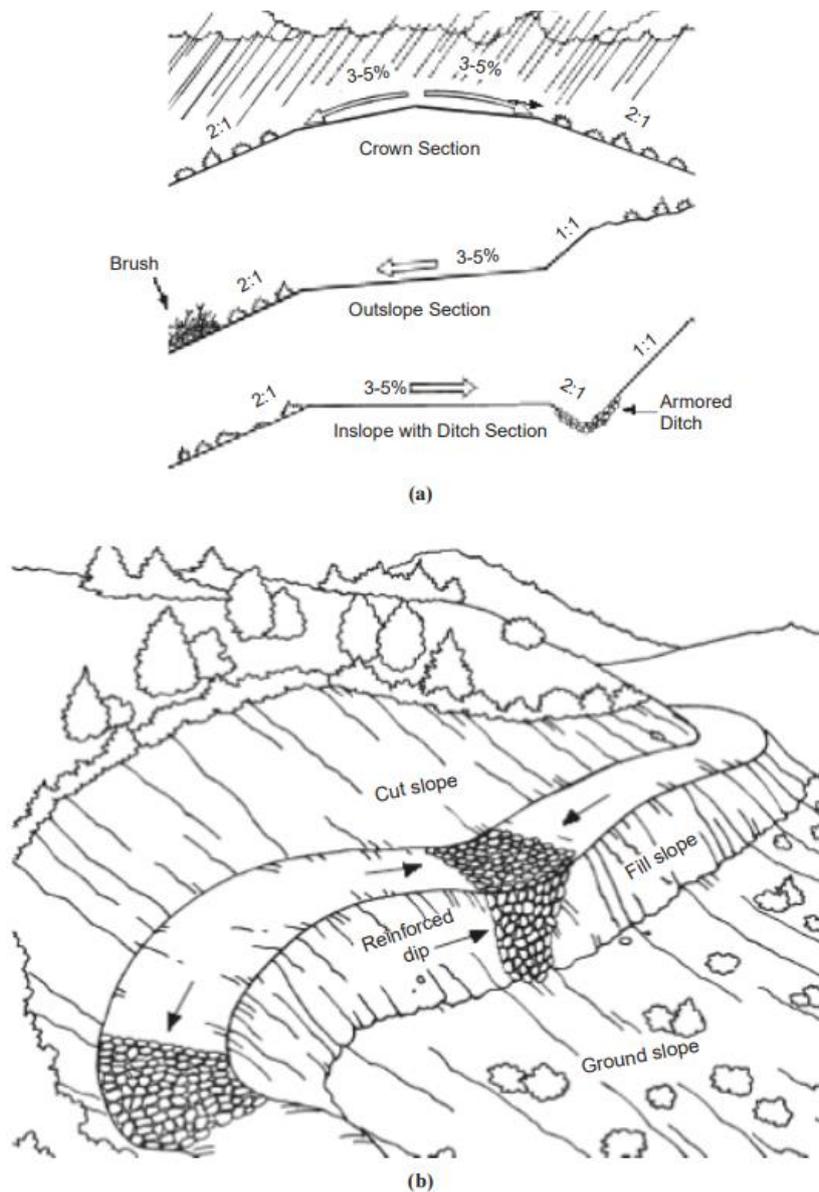


Figura 1. Medidas de drenagem da superfície da estrada para remoção de água. (a) opções básicas de drenagem da superfície da estrada e (b) uso de rampas rolantes e depressões rolantes dirigíveis (Keller e Berry, 2007).

No processo de construção de estradas, corriqueiramente o planejamento ineficiente pode concentrar fluxos de água e, conseqüentemente, a velocidade do escoamento superficial da água pode gerar processos erosivos de alto impacto. Basicamente, as medidas preventivas para o controle erosivo envolvem a maior minimização da área impactada, a cobertura e proteção do solo de áreas impactadas e o planejamento para a dissipação dos fluxos de água ao invés de concentrá-los (Keller e Berry, 2007).

3.1.2 Perturbação terrestre e alocação de estradas

Dada a alta densidade de estrada requeridas em florestas tropicais (Dykstra e Heinrich, 1996) para um tráfego consideravelmente baixo, os padrões de estradas devem afetar a menor área possível, além de estar em conformidade com a topografia. Por exemplo, para estradas secundárias pode ser estabelecido um padrão de 6 a 7 e 3,5 a 4 metros de largura para estradas de faixa dupla ou única, respectivamente. Além disso, um raio de 15 a 25 metros em curvas é indicado (Keller e Berry, 2007).

A perturbação está diretamente relacionada à alocação errônea de estradas florestais. Estradas construídas em aclives excessivos (maiores que 12%), áreas com afloramentos rochosos ou áreas úmidas geram altos custos de manutenção e impactos. Quando novas estradas alternativas se fazem necessárias novas perturbações e custos são gerados. Desta forma, o planejamento deve ser rigoroso com uso prévio de mapas e inspeção visual das respectivas áreas (Keller e Berry, 2007), além da estipulação da distância ótima entre estradas (DOE) para redução de custos e da distância mínima entre estradas para menor remoção de terra através da diminuição dos comprimentos das estradas e correção da topografia (Amaral et al., 1998) (Figura 2).

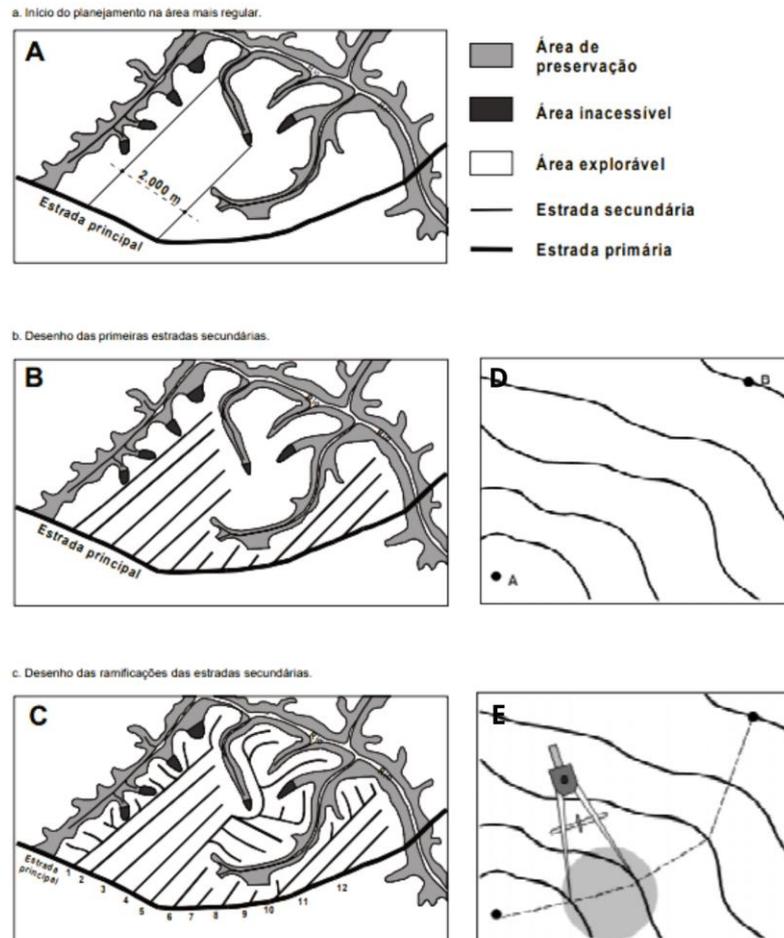


Figura 2. Planejamento e alocação de estradas em áreas planas com distância ótima entre estradas (DOE) (A, B, C) e em áreas declivosas com distância mínima entre estradas (D, E). Adaptado de Amaral et al. (1998).

3.1.3 Uso de materiais rodoviários locais

A pavimentação de estradas é fundamental para a manutenção do tráfego e de boas condições de colheita florestal, contudo muitas vezes é um processo oneroso e por isso acaba sendo dispensável. A utilização de práticas e recursos alternativos visa a adequação do projeto às condições climáticas locais para manutenção das operações bem como o conforto e velocidade das mesmas, mas também a minimização da produção e escoamento de sedimentos, que podem se acumular na própria estrada ou nos corpos hídricos (Keller e Berry, 2007). Para isso, a identificação de fontes de rochas lateritas (depósitos residuais endurecidos oriundos do intemperismo com alta concentração de óxidos de ferro e alumínio) é uma boa alternativa devido a sua abundância em solos tropicais. Estas fontes, se próximas,

funcionam como um empréstimo de material para cascalho. Em estradas de baixo fluxo, uma faixa de aplicação de 50 a 100 milímetros de cascalho de laterita pode ser suficiente, já para estradas de maior fluxo ou em áreas úmidas recomenda-se a escavação de aproximadamente no máximo 1 metro de profundidade seguida da aplicação de cascalho de laterita para preenchimento (Sharp et al., 2001).

As fontes de materiais locais podem reduzir consideravelmente os custos de produção, principalmente quando reduzem a distância de transporte. Um fator crítico relacionado às fontes de materiais é a posterior recuperação da área de extração, onde deve-se atentar ao uso futuro, vida silvestre e flora local.

3.1.4 Uso e travessias de drenagem (Pontes e bueiros)

Estruturas de drenagem embora sejam rotineiramente construídas de forma correta e com a utilização de materiais locais, como toras, muitas vezes são construídas em quantidade insuficiente. A sua construção deve-se embasar na capacidade de fluxo e pluviosidade na respectiva área. Em estradas principais, estruturas metálicas e de alvenaria são mais indicadas devido a sua vida útil e capacidade de fluxo maiores, contudo, estruturas de toras também podem ser implementadas. Em estradas secundárias, de acesso local temporário e/ou com baixo fluxo, os bueiros de toras empilhadas são uma boa alternativa. Os bueiros convencionais possuem maior custo e possuem uma vida útil que varia entre 75 e 100 anos, enquanto os bueiros de toras empilhadas possuem um menor custo e, se construídos corretamente, podem ter uma vida útil de até 50 anos (Keller e Berry, 2007).

O tipo e o tamanho da estrutura dependerão muito da extensão necessária, padrões de estradas, do volume de pico de fluxo estimado e tipo de drenagem (riacho, etc.) (Tabela 1). Os tubos podem ser de metal, concreto ou plástico. Os bueiros de toras podem ser de toras ocas, toras paralelas empilhadas ou toras transversais empilhadas (bueiros Humboldt). Além disso, o dimensionamento deve ser compatível com a vida útil objetivada no projeto.

Tabela 1. Tipos de estruturas para pontes e bueiros em relação a rede de drenagem e classificação de estradas (Keller e Berry, 2007).

Tipo de drenagem	Classificação das estradas	
	Estrada principal e coletora	Estrada local ou trilhos de arraste
Rio principal	Pontes de madeira ou concreto, aço, etc.	Não atravessá-lo ou utilizar ponte temporária.
Fluxo perene	Ponte de toras, canos grandes ou múltiplos	Bueiro de caixa de toras
Drenagem efêmera	Canos ou bueiros de caixa de toras	Bueiro de toras ou toras empilhadas
Drenagem superficial	Coroa, valas com drenos transversais tubulares	Estrada inclinada e uso de declives ondulados

3.1.6 Estabilidade de taludes

Taludes podem não ser frequentemente necessários em operações florestais tropicais, única e exclusivamente porque elas estão alocadas em terrenos planos. Contudo, a presença de estradas agrava a ocorrência de deslizamentos em áreas próximas a bacias hidrográficas que possuem uma topografia com inclinação mais acentuada. Particularmente, em regiões tropicais, os solos intemperizados e alta pluviosidade são as principais causas (Keller e Berry, 2007).

A ação antrópica da vibração produzida por máquinas pesadas, combinada à tensões de cisalhamento, forças de resistência ao cisalhamento e aumento do peso específico do solo devido a presença de água pode resultar em diversos tipos de escorregamentos de solo, como planares, circulares, em cunha, etc. (Keller e Berry, 2007).

As melhores práticas para construção de taludes estão resumidas a sua inclinação. Embora haja uma dependência de tipos de solo, a melhor estabilidade de

taludes é encontrada em inclinações 1:1 (Figura 3) ou mais planos. Além disso, o uso de vegetação com sistemas radiculares profundos é complementar como medida de estabilização (Keller e Berry, 2007).

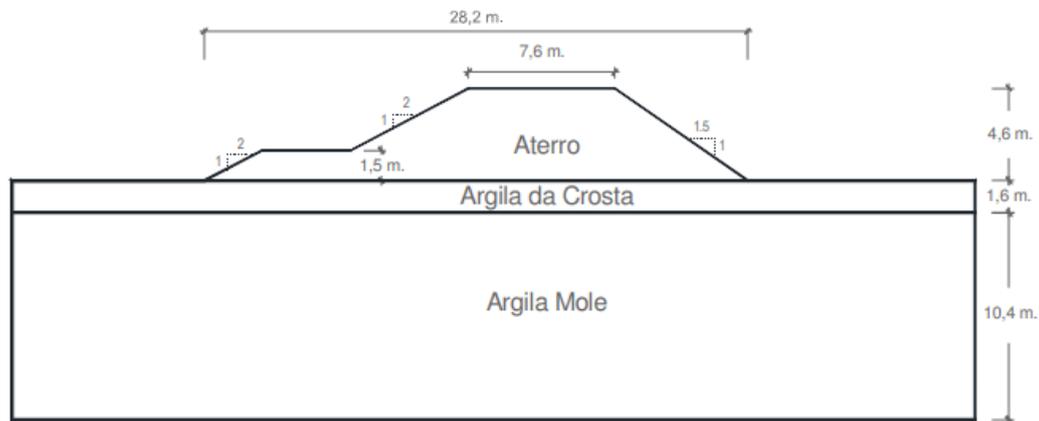


Figura 3. Exemplificação do ângulo de inclinação de taludes. Adaptado de Marangon (2006).

3.2 Abate

As estratégias de corte de árvores empregadas na exploração madeireira sustentável visam prevenir equívocos, como o corte acima da altura ideal e a remoção excessiva da parte superior abaixo do ponto recomendado. Esses equívocos resultam em desperdício excessivo de madeira, danos desnecessários ao ecossistema florestal e um aumento potencial de acidentes de trabalho. O processo de corte nas áreas de manejo florestal também leva em consideração a direção controlada da queda das árvores para proteger a regeneração de espécies de árvores de valor comercial e facilitar o transporte das toras. A equipe de corte geralmente é composta por um ou dois operadores de motosserra e um auxiliar. O auxiliar é responsável por identificar a árvore a ser derrubada, limpar a área e preparar uma rota de escape. Enquanto um dos operadores de motosserra realiza o corte da árvore, o outro se encarrega de separar o tronco da copa, dividir o tronco em toras e remover obstáculos para facilitar o arraste.

3.2.1 *Pré-corte*

As árvores devem ser adequadamente preparadas para o corte, considerando as seguintes diretrizes:

1. Verificar a viabilidade da direção de queda recomendada e identificar possíveis riscos de acidentes, como galhos quebrados pendurados na copa.
2. Limpar o tronco destinado ao corte, removendo cipós e quaisquer obstáculos próximos à árvore, como casas de cupins e galhos quebrados.
3. Realizar o teste de oco introduzindo verticalmente o sabre da motosserra no tronco. A resistência de entrada permite avaliar a presença e o tamanho de ocos.
4. Retirar pregos e plaquetas de alumínio colocados durante o censo e transferi-los para a base da árvore, abaixo da linha de corte. Essa remoção é crucial para evitar danos à serra fita durante o processamento da madeira.
5. Preparar rotas de fuga para a equipe se afastar no momento da queda da árvore. Essas rotas devem ser construídas na direção oposta à tendência de queda da árvore.

Para árvores com tronco de qualidade, caracterizado por pouca inclinação e ausência de sapopemas, e que apresentam uma direção natural de queda propícia ao processo de arraste, a técnica padrão de corte é empregada. Por outro lado, as chamadas "técnicas especiais de corte" são reservadas para árvores que exibem pelo menos uma das seguintes características: grande diâmetro, inclinação excessiva, propensão a rachaduras, presença de sapopemas, ocorrência de ocos significativos e direção de queda desfavorável ao arraste.

3.2.2 *Corte*

A técnica padrão de corte envolve uma sequência de três entalhes, nomeadamente a abertura da "boca", o corte diagonal e o corte de abate ou direcionamento (Figura 4). A abertura da "boca" consiste em realizar um corte horizontal no tronco (sempre no lado de queda da árvore), a uma altura de 20 cm do solo. Este corte deve penetrar no tronco até atingir cerca de um terço do seu diâmetro. Em seguida, é executado outro corte em diagonal até alcançar a linha de corte horizontal, formando um ângulo de 45 graus com esta. Por fim, realiza-se o corte de abate de forma horizontal, no lado oposto à "boca". A altura desse corte em relação ao solo é de 30 cm, e a profundidade atinge a metade do tronco.

A porção não cortada do tronco, localizada entre a linha de abate e a "boca", conhecida como dobradiça, tem a função de suportar a árvore durante a queda, permitindo que ela caia na direção da abertura da "boca". A largura da dobradiça deve corresponder a 10% do diâmetro da árvore.

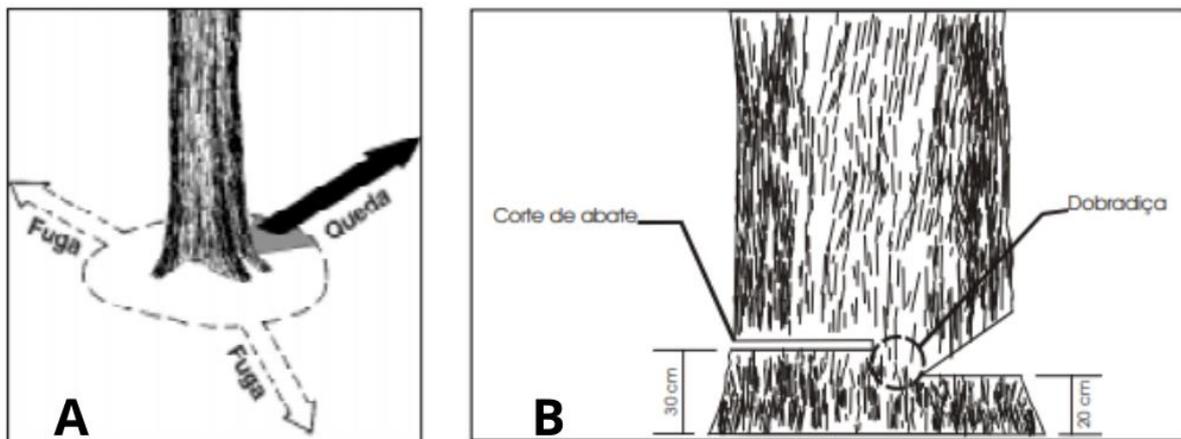


Figura 4. A - Ilustração da direção da queda e rotas de fuga. B - Técnica padrão para o corte de árvores. Fonte: Imazon

3.2.3 Erros de corte

Há um erro que pode se suceder na altura do corte, em que, em vez de seguir a recomendação (30 cm), o motosserrista realiza o corte de abate à altura da cintura (60-70 cm) devido à falta de treinamento e, por vezes, por conveniência. Esse erro pode resultar em um desperdício de 0,25 m³ por hectare.

Outro erro está relacionado ao corte da "boca", especificamente na profundidade e ângulo. Se o corte diagonal for inferior a 45 graus e não se alinhar com o corte horizontal, aumentam as chances de a árvore rachar durante a queda. Esse erro representa uma perda média de 1,2 m³ por hectare (Figura 5).

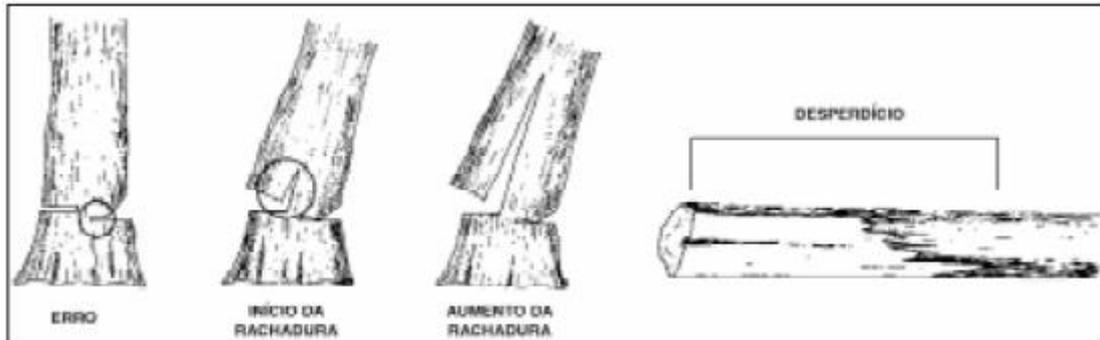


Figura 5. Desperdício de tora devido à rachadura proveniente de um corte mal feito.
Fonte: Imazon.

3.2.4 Pós-corte

As etapas após o corte inicialmente envolvem o desponte, que consiste em separar a copa do tronco, seguido pela divisão da tora em segmentos menores, conhecida como traçamento. O número de toras resultantes depende do comprimento original do tronco, da densidade da madeira (visto que toras mais pesadas são mais desafiadoras de transportar), das especificações do mercado, do tipo de veículo de transporte e da posição da queda em relação ao ramal de arraste. Posteriormente, o motosserrista deve atentar para possíveis obstáculos ao guinchamento da tora, como arvoretas ou tocos no caminho, e removê-los, se presentes.

A equipe responsável pela derrubada deve traçar as árvores que caíram naturalmente, cruzando as trilhas de arraste. Essas árvores são previamente indicadas no mapa de planejamento e identificadas no campo por fitas coloridas.

3.3 Arraste

Para movimentar as toras do local onde as árvores caíram até os pátios de armazenamento, são empregados diversos tipos de veículos de carga, que vão desde

tração animal até tratores agrícolas, tratores de esteira e tratores florestais de pneus (skidders). Na operação controlada, a equipe de arraste utiliza o mapa de planejamento e as demarcações na área florestal para localizar as árvores derrubadas e transportá-las. Esse método, em conjunto com a utilização de máquinas apropriadas, resulta em um incremento de 60% na eficiência produtiva.

O arraste por veículos mais rápidos, como o trator florestal, envolve uma equipe composta por três pessoas: um tratorista, um ajudante no pátio responsável pelo desengate das toras, e outro ajudante dentro da floresta encarregado de procurar e enlaçar as toras.

No pátio de estocagem, o tratorista e o ajudante verificam, consultando o mapa de planejamento, a localização dos ramais de arraste e o número de toras a serem arrastadas por ramal. O tratorista abre o ramal principal, seguindo as indicações das balizas. Enquanto isso, o ajudante orienta o tratorista até a última árvore do ramal (a primeira a ser arrastada) e realiza o enlace da tora. Para auxiliar na manobra do trator e indicar o local de parada, o ajudante pode utilizar um apito. O ajudante conecta o cabo principal ao estropo da tora enlaçada. Em seguida, afasta-se da área por onde a tora será guinchada e, utilizando novamente o apito, avisa que a tora está pronta para ser guinchada. O tratorista aciona o guincho, que traz a tora até a traseira do trator. O trator carrega a tora até o pátio de estocagem, enquanto o ajudante na floresta procura a próxima tora a ser arrastada e realiza o enlace do estropo.

No pátio de estocagem, o tratorista desengata o guincho, liberando a tora. Em seguida, o ajudante desconecta o estropo. Imediatamente, o tratorista aciona o guincho para enrolar o cabo. Por fim, as toras são empilhadas no pátio de maneira a possibilitar a movimentação das máquinas e caminhões.

3.3.1 Compactação do solo

Atualmente, a compactação do solo causada por máquinas pesadas na extração de madeira de florestas durante operações de corte raso baseadas no solo parece inevitável. A compactação do solo é a compressão das partículas sólidas do solo, o que resulta no aumento da densidade aparente e no aumento da resistência do solo. Essas alterações nas propriedades físicas do solo, quando graves, são

prejudiciais ao crescimento das plantas e aumentam a taxa de mortalidade de mudas (DeArmond, et al., 2019)

Algumas das soluções existentes para minimizar a compactação do solo consistem em escolher máquinas mais leves, máquinas com esteiras em vez de pneus, e, se máquinas com pneus forem utilizadas, desinflar os pneus para a pressão mais baixa permitida recomendada (DeArmond, et al., 2020) e a amostragem da densidade aparente e resistência à penetração se mostram de grande importância (Figura 6). Soluções adicionais para proteger o solo da compactação incluem a aplicação de um buffer entre a trilha de arraste e o conjunto de rodas da máquina na forma de galhos, arbustos, casca, cavacos de madeira e serragem.

O estudo realizado por DeArmond e colaboradores (2019) constatou que a compactação do solo causada pelas operações de corte raso persistiu mesmo após 30 anos, com o horizonte superficial do solo dentro das trilhas de arraste não apresentando diferença significativa em comparação com o solo não perturbado do grupo de controle. Isso indica que os impactos da compactação das trilhas de arraste persistem por décadas e possivelmente mais, sugerindo que a recuperação das trilhas de arraste em florestas tropicais após operações de corte raso é um processo lento. A lenta recuperação das trilhas de arraste em florestas tropicais após operações de corte raso sugere que as práticas de manejo florestal precisam considerar os impactos de longo prazo da compactação do solo e da perturbação causada pelas atividades de corte raso. Isso inclui a necessidade de um planejamento cuidadoso e monitoramento das operações de corte raso para minimizar a perturbação e compactação do solo, bem como a implementação de estratégias para promover a recuperação de áreas perturbadas ao longo de períodos prolongados. Essas implicações ressaltam a necessidade de práticas de manejo florestal sustentáveis e responsáveis para minimizar os impactos ecológicos de longo prazo.

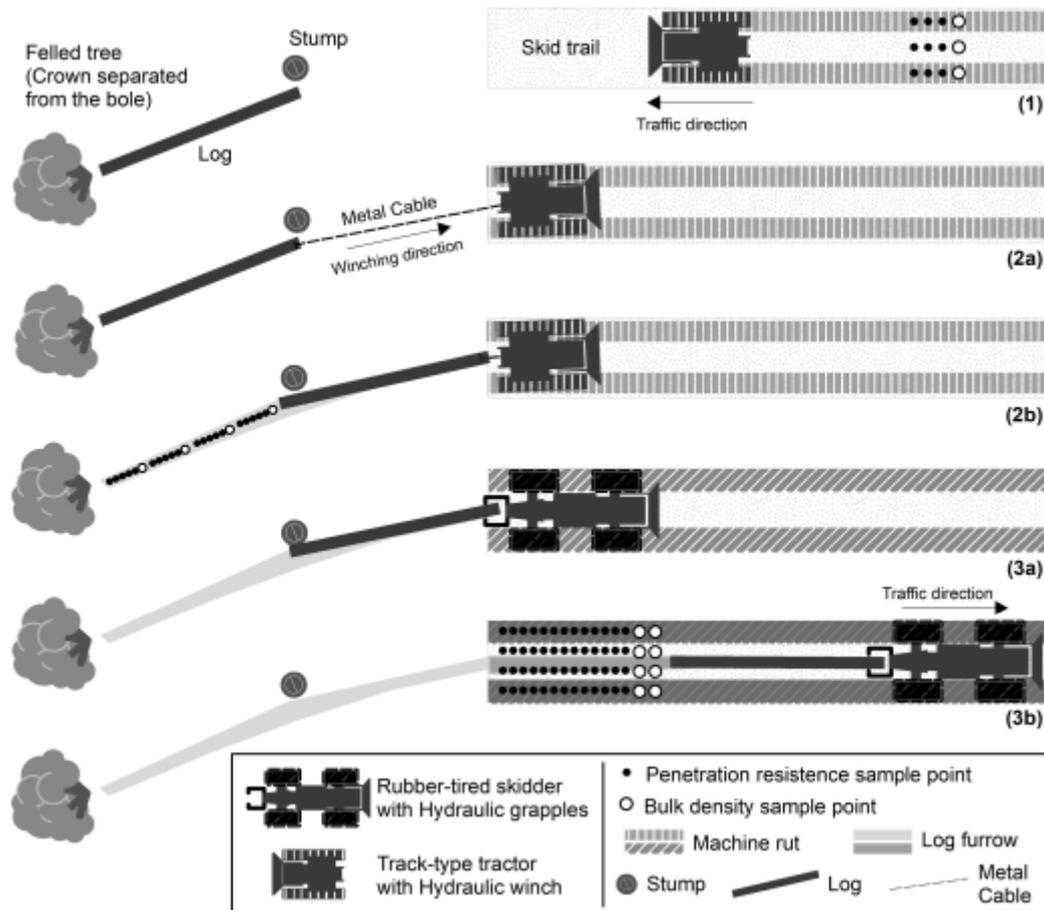


Figura 6. Exemplo de configuração de uma parcela para amostragem da densidade aparente do solo (BD) e da resistência à penetração do solo (PR). As atividades de corte raso consistiram em (1) construção de trilha de arraste com um trator tipo esteira com parcela para BD ($n = 12$) e PR ($n = 36$); (2a) cabo de metal é desenrolado e fixado a um determinado tronco; (2b) tronco é recolhido com guincho hidráulico e deixado na borda da trilha de arraste com parcela para BD ($n = 16$) e PR ($n = 80$); (3a) skidder recua até o tronco; (3b) skidder agarra o tronco com garras hidráulicas e arrasta o tronco até a área de desembarque com parcela para BD ($n = 32$) e PR ($n = 208$). Extraído de DeArmond, D. et al. (2019)

4. A colheita de impacto reduzido garante a produção sustentada no longo prazo?

A colheita de impacto reduzido (RIL) melhora as práticas de exploração madeireira quando comparada às colheitas convencionais que constituem aproximadamente 90% ao prover um conjunto de “melhores práticas”, como manutenção da cobertura

florestal, de espécies raras, árvores porta sementes, olhar para as comunidades e para a vida selvagem (Zarin et al. 2007). Porém, a sustentabilidade da produção madeireira quando analisada da óptica de reposição de estoque comercial colhido em relação a intensidade de exploração e danos gerados pelas atividades, como árvores danificadas e abertura de dosse, não é alcançada apenas com as práticas padronizadas pela RIL (Sist e Ferreira, 2007) já descritas neste documento. Nos atuais modelos legais, no qual se implementa um diâmetro mínimo de corte de 55 centímetros para todas as espécies comerciais, combinado com um ciclo de corte de 30 anos e um rendimento de $40 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$, apenas 50% do estoque exportado é recuperado para o segundo ciclo, mesmo considerando o melhor cenário com baixa mortalidade e altas taxas de crescimento (Sist e Ferreira, 2007). Ambos os modelos de exploração levariam à mineração das florestas e a sua dominação por espécies pioneiras (Valle et al., 2007)

Além das motivações ambientalistas, a RIL como uma metodologia lucrativa em sistemas tropicais depende de melhores práticas operacionais, mas não de maiores volumes explorados ou proteção de recursos (Macpherson et al., 2012). Além disso, para a implantação da RIL, deve-se ter em mente que os volumes de madeira explorados ao longo dos sucessivos ciclos apresentam uma queda, não sendo perpetuamente sustentados. Mesmo neste cenário, colheitas sucessivas ainda se apresentam rentáveis, porém com mudanças na composição e estrutura da floresta futura em relação à primária (Macpherson et al., 2012). Portanto, a melhoria das práticas de manejo reflete benefícios ambientais e econômicos.

Práticas adicionais à RIL se mostram necessárias para a sustentação da produção de madeira. É bem estabelecido que a combinação de menores volumes iniciais de colheita, ciclos de cortes mais longos e implementação de atividades silviculturais pós-colheita são necessários (Wadsworth e Zweede, 2006). Para a floresta ombrófila mista, no Brasil, por exemplo, um manejo que se mostre sustentável na produção de madeira, deve preconizar maiores diâmetros mínimos de corte (DMC) e menores intensidades de exploração (IE), pois quanto menores forem os ciclos de corte e DMC e maiores forem as IE, maiores serão os riscos de declínio genético nesses ambientes (Dal Bem, 2014). A combinação de DMC de 50 cm, IE igual a 90% e ciclo de corte de 30 anos se mostra o cenário com maiores perdas genéticas e

demográficas em área basal, sendo estes os parâmetros legais para exploração florestal sustentada no Brasil (Dal Bem et al., 2015).

Para além disso, o uso de algoritmos (Dijkstra Algorithm - DA) possibilita a otimização das operações de colheita. A melhor alocação de pátios e trilhos de arraste resulta na redução da distância total e densidade de trilhos de arraste e, conseqüentemente, do número de árvores acima da distância ótima de extração (definida como...). Este nível de refinamento de planejamento pode reduzir, até o momento, cerca de 23% (Figura 7) na densidade de estradas, reduzindo os custos operacionais e ambientais atrelados à abertura de estradas (Sales et al. 2019). Através da programação linear inteira, também é possível obter otimizações na localização dos pátios de toras através da aplicação de restrições simultâneas (Figura 8), resultando em menores dados ao estande residual e otimização de custos (Silva et al. 2018)

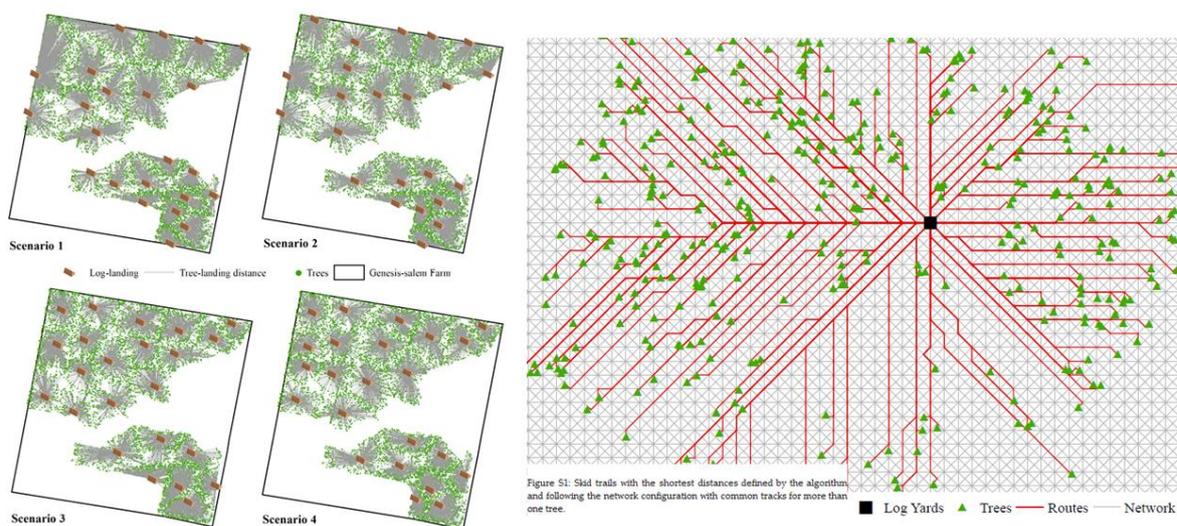


Figura 7. Alocação ótima de pátios e trilhos de arraste do cenário mais restritivo (1) para o menos restritivo (4) utilizando trilhas comuns para mais de uma árvore pelo algoritmo Dijkstra. Adaptado de Sales et al. (2019).

Adicionalmente, considerar também o tamanho da área e a propriedade da terra é particularmente interessante para delimitar diretrizes que garantam a sustentabilidade a longo prazo na produção de madeira em regiões tropicais (Zarin et al. 2007). É contraproducente esperar que os pequenos agricultores subscrevam limitações adicionais de colheita além do RIL. Pequenas propriedades não possuem

incentivos fiscais o suficiente para arcar com os custos atrelados, contudo, ainda assim, representam aproximadamente 28% da madeira colhida na Amazônia brasileira (Lentini et al., 2005). Portanto, operações florestais de grande porte em áreas públicas e privadas deveriam se incumbir da sustentabilidade a nível de volume total de madeira extraída por unidade de área por ciclo de corte e sustentar a produção em volume de espécies colhidas individualmente (Zarin et al. 2007). Objetivos e práticas específicas devem ser asseguradas em ambos os casos e benefícios e custos estão atrelados ao processo. Isto é descrito detalhadamente nas tabelas 2 e 3.

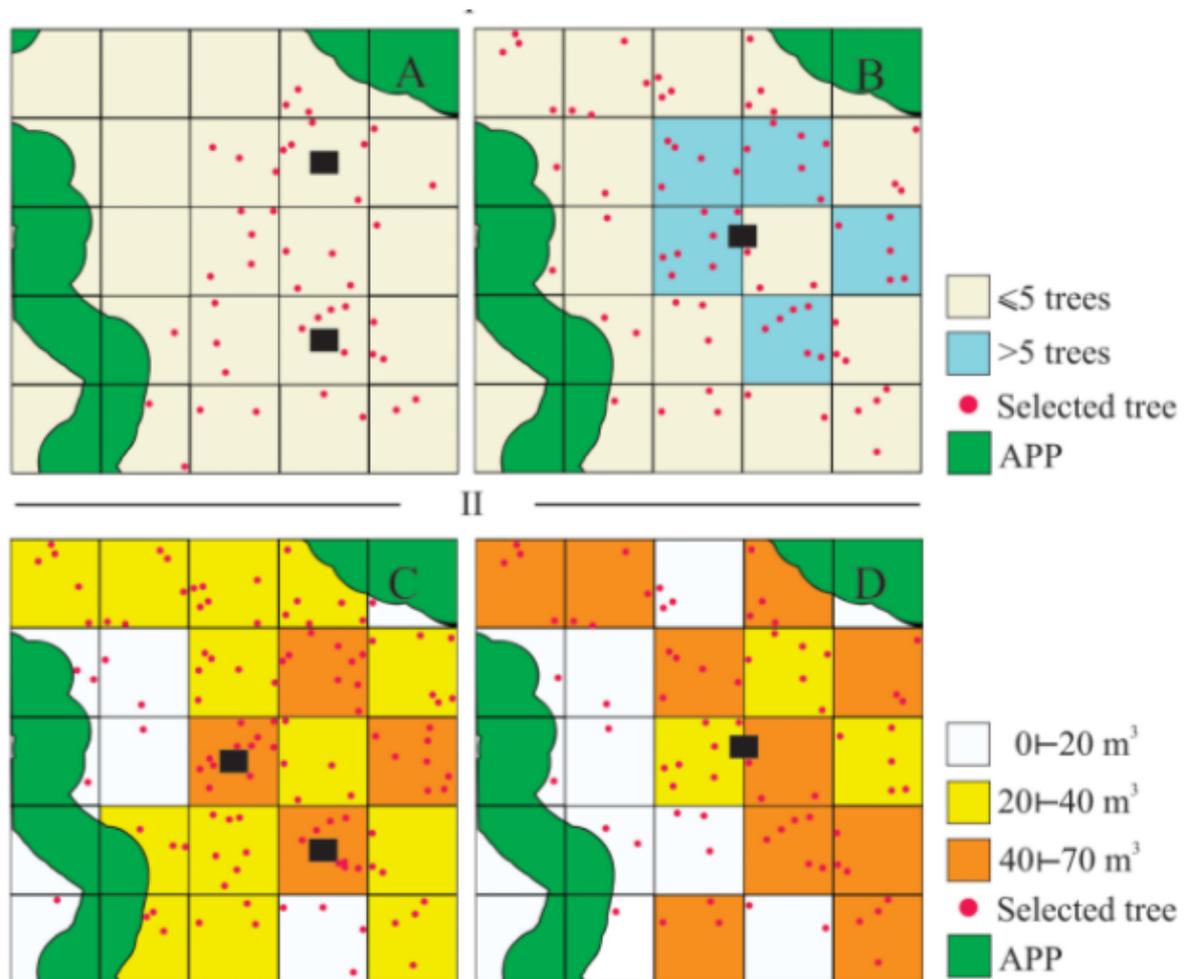


Figura 8. Resultados obtidos dos modelos programação linear inteira, com parâmetros e restrições para diferentes cenários (Silva et al., 2018).

Tabela 2. Objetivos e práticas de manejo florestal propostas para aplicação em propriedades de diferentes tamanhos e posses na Amazônia brasileira (Zarin et al., 2007).

Objetivo	Práticas	Aplica-se à
Manter a cobertura florestal e a presença de espécies	1) Respeitar os limites legais sobre zonas ribeirinhas, volume de colheita, porta sementes, designação de espécies raras; 2) Empregar práticas de registro de impacto reduzido, incluindo inventário, mapeamento de espécies e povoamentos, corte de cipós pré-colheita, planejamento de estradas e trilhas de arraste e corte direcional.	Todas as terras públicas e privadas.
Sustentar o volume total de produção de espécies atualmente comerciais	1) Ajustar os ciclos de corte e a intensidade da colheita com base nas características específicas do estande; 2) Projeção do acúmulo de volume de espécies comerciais; 3) controle da área de colheita anual para permitir a conclusão da rotação de colheita conforme necessário; 4) Usar prescrições silviculturais pós-colheita (liberação, desbaste, preparação do local para regeneração, corte de cipós, plantio de enriquecimento) para promover o crescimento e a regeneração adequada para produção em volume sustentado no ciclo corte desejado.	Todas as terras públicas e privadas > 3.000 hectares.
Sustentar a produção em volume de cada espécie colhida individualmente	1) Ajustar ciclos de corte, intensidade de colheita, diâmetros mínimos e prescrições silviculturais pós-colheita baseadas em espécies específicas; 2) Projeções de acumulação de volume.	Todas as florestas públicas > 10.000 hectares

Tabela 3. Custos e benefícios associados aos objetivos propostos para o manejo das florestas amazônicas para produção de madeira (Zarin et al., 2007).

Objetivo	Incremento de custos		Incremento de benefícios	
	Privado	Público	Privado	Público
Manter a cobertura florestal e a presença de espécies	Oportunidade perdida de conversão ilegal de reservas florestais e colheita ilegal de espécies raras	Aplicação de impostos perdidos sobre produtos de atividades ilegais	Receitas provenientes dos usos florestais eliminação do risco de multas pelo uso ilegal da terra	Serviços ecossistêmicos (biodiversidade, acumulação de carbono, proteção de bacias hidrográficas, redução do albedo, estabilidade das chuvas regionais) impostos sobre a colheita de madeira
Sustentar o volume total de produção de espécies atualmente comerciais	Oportunidade perdida de colheita de maior volume inicial e investimento na silvicultura	Maior intensidade de aplicação, renúncia de impostos sobre colheita de maior volume e perda de biodiversidade associada a práticas silviculturais	Aumento da receita da colheita futura e maior estabilidade a longo prazo da produção em volume	Aumento dos impostos futuros sobre a colheita de madeira, risco reduzido de ciclos econômicos regionais de expansão e queda e mais empregos permanentes no setor

Objetivo	Incremento de custos		Incremento de benefícios	
	Privado	Público	Privado	Público
				florestal.
Sustentar a produção em volume de cada espécie colhida individualmente	Oportunidade perdida de colher maior volume inicial de espécies individuais e investimento na silvicultura para essas espécies	Maior intensidade de aplicação, renúncia de impostos sobre a colheita de maior volume de espécies individuais e perda de biodiversidade associada a práticas silviculturais que favorecem essas espécies	Aumento da receita da colheita futura e maior estabilidade a longo prazo do volume de produção para espécies de alto valor	Aumento dos impostos futuros sobre a colheita de madeira, risco reduzido de ciclos econômicos regionais de expansão e queda e mais empregos permanentes no setor florestal

5. Considerações finais

Os atuais mecanismos legais e técnicos empregados na exploração de impacto reduzido são eficientes para redução de impactos comparados à exploração convencional. Contudo, estes mecanismos não sustentam a produção e resiliência da floresta à longo prazo.

Entendemos que os mecanismos adicionais propostos para se alcançar uma produção sustentada à longo prazo dificilmente é empregada a nível operacional,

principalmente quando se trata de pequenos produtores. Portanto, para que a colheita de impacto reduzido seja verdadeiramente competitiva e tenha mecanismos adicionais incorporados à sua metodologia seria necessário que novos incentivos fossem estabelecidos e mecanismos legais fossem rigorosamente seguidos e fiscalizados. Além disso, variáveis como a exploração ilegal de madeira também representa um impeditivo de mercado ao potencial da sustentabilidade no manejo de florestas tropicais nativas.

6 Bibliografia

Amaral, P.; Veríssimo, A.; Barreto, P. & Vidal, E. (1998) Floresta para Sempre: Um Manual para a Produção de Madeira na Amazônia. Belém: Imazon. 155 p.

Andrade, F.W.C. et al. (2022) 'The Legal Roundwood Market in the Amazon and Its Impact on Deforestation in the Region between 2009–2015', *Forests*, 13(4), p. 558. Available at: <https://doi.org/10.3390/f13040558>.

Dal Bem, E. A. (2014) Estudo Dos Impactos Do Corte Seletivo De Árvores Na Diversidade Genética E Demografia De População De Araucaria Angustifolia, Utilizando Modelagem Ecogene. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de engenharia de Ilha Solteira.

Dal Bem, E. A., Bittencourt, J. V. M., Moraes, M. L. T., Sebbenn, A. M (2015) Cenários de corte seletivo de árvores na diversidade genética e área basal de populações de Araucaria angustifolia com base em modelagem Ecogene. *Sci. For.*, Piracicaba, v. 43, n. 106, p. 453-466.

DeArmond, D. et al. (2019) 'Impacts of soil compaction persist 30 years after logging operations in the Amazon Basin', *Soil and Tillage Research*, 189, pp. 207–216. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.01.010>.

DeArmond, D. et al. (2020) 'An Assessment of Soil Compaction after Logging Operations in Central Amazonia', *Forest Science*, 66(2), pp. 230–241. Available at: <https://doi.org/10.1093/forsci/fxz070>.

Dykstra, D. e R. Heinrich. (1996) FAO Model Code for Forest Harvesting Practice. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Johansson, J. (2014) 'Why do forest companies change their CSR strategies? Responses to market demands and public regulation through dual-certification',

Journal of Environmental Planning and Management, 57(3), pp. 349–368. Available at: <https://doi.org/10.1080/09640568.2012.743882>.

Keller, G. R., & Berry, J. (2007) Reduced Impact Logging Road Issues in Tropical Forests. *Transportation Research Record*, 1989-1(1), 98-106. <https://doi.org/10.3141/1989-11>

Lentini, M., Pereira, D., Celentano, D. e Pereira R. (2005) Fatos Florestais da Amazônia. IMAZON, Belém, Brasil.

Lima, K.S. et al. (2020) 'Wood-Logging Process Management in Eastern Amazonia (Brazil)', *Sustainability*, 12(18), p. 7571. Available at: <https://doi.org/10.3390/su12187571>.

Marangom, M. Notas de aula: Tópicos em Geotecnia e Obras de terra. UFJF, 2006. Disponível em: http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/togot_Unid03-GeoContencoesParte01-2006-2.pdf. Acesso em: 27/11/2023.

Macpherson, A. J. et. al. (2012) The sustainability of timber production from Eastern Amazonian forests. *Land Use Policy*, 29, p. 339–350.

Pokorny, B. (2009) Diretrizes De Manejo Para Produção Madeireira Mecanizada Em Florestas De Terra Firme Na Amazônia Brasileira. Embrapa Amazônia Oriental.

Putz, F.E. et al. (2008) 'Reduced-impact logging: Challenges and opportunities', *Forest Ecology and Management*, 256(7), pp. 1427–1433. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.03.036>.

Sales, A. et al. (2019) Optimization of Skid Trails and Log Yards on the Amazon Forest. *Forests*, 10, 252. Doi:10.3390/f10030252

Schulze, M., Grogan, J. and Vidal, E. (2008) 'Forest certification in Amazonia: standards matter', *Oryx*, 42(02). Available at: <https://doi.org/10.1017/S0030605308000689>.

Sharp, K., B. Vuong, R. Rollings, E. Baran, G. Foley, J. Johnson-Clarke, and J. Metcalf (2001) An Evaluation of the Field and Laboratory Properties of Lateritic Gravels. Research Report ARR343. Australian Road Research Board, Transport Research, Ltd., Vermont South, Australia.

Silva, P. H., Gomide, L. R.; Figueiredo, E. O., Carvalho, L. M. T., Ferraz Filho, A. C. (2018) Optimal selective logging regime and log landing location models: a case study in the Amazon forest. *Acta Amazonica* 48: 18-27. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4392201603113>

Sist, P. and Ferreira, F.N. (2007) 'Sustainability of reduced-impact logging in the Eastern Amazon', *Forest Ecology and Management*, 243(2–3), pp. 199–209. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.02.014>.

Sist, P., Dykstra, D. & Fimbel, R. (1998). Reduced impact logging guidelines for lowland and hill dipterocarp forests in Indonesia. Bulungan Research Report Series No. 1, September 1998, Center for International Forestry Research, Bogor, Indonesia.

Valle, D. et al. (2007) Adaptation of a spatially explicit individual tree-based growth and yield model and long-term comparison between reduced-impact and conventional logging in eastern Amazonia, Brazil. *Forest Ecology and Management* 243, 187–198. doi:10.1016/j.foreco.2007.02.023

Wadsworth, F. H., and J. C. Zweede (2006) Liberation: acceptable production of tropical forest timber. *Forest Ecology and Management* 233:45–51.

Wollenberg, E., Ingles, A., eds. (1998) *Incomes from the forest: methods for the development and conservation of forest products for local communities*. Bogor, Indonesia, CIFOR. 227p.

Zarin, D. J. (2007) Beyond Reaping the First Harvest: Management Objectives for Timber Production in the Brazilian Amazon. *Conservation Biology*, Volume 21, No. 4, 916–925. DOI: [10.1111/j.1523-1739.2007.00670.x](https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2007.00670.x)