

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE, UNICENTRO – PR**

**PLANEJAMENTO E ALOCAÇÃO OTIMIZADA DE PÁTIOS PARA  
EXPLORAÇÃO EM PLANOS DE MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL NA  
AMAZÔNIA**

TESE DE DOUTORADO

**DÉBORA MONTEIRO GOUVEIA**

**IRATI-PR**

**2023**

**DÉBORA MONTEIRO GOUVEIA**

**PLANEJAMENTO E ALOCAÇÃO OTIMIZADA DE PÁTIOS PARA  
EXPLORAÇÃO EM PLANOS DE MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL NA  
AMAZÔNIA**

Tese apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Sustentável dos Recursos Florestais, para obtenção do título de Doutora em Ciências Florestais.

Prof. Dr. Julio Eduardo Arce

Orientador

Prof. Dr. Eduardo da Silva Lopes

Coorientador

Prof. Dra. Fabiane Aparecida Retslaff Guimaraes

Coorientadora

IRATI, PR

2023

Catalogação na Publicação  
Rede de Bibliotecas da UNICENTRO

G719p Gouveia, Débora Monteiro  
Planejamento e alocação otimizada de pátios para exploração em planos de manejo florestal sustentável na Amazônia / Débora Monteiro Gouveia. -- Irati/PR, 2023.  
xii, 85 f. : il. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais, 2023.

Orientador: Julio Eduardo Arce  
Coorientador: Eduardo da Silva Lopes  
Coorientadora: Fabiane Aparecida Retslaff Guimaraes  
Banca examinadora: Julio Eduardo Arce, Thiago Augusto da Cunha, Jaqueline Macedo Gomes, Andrea Nogueira Dias, Evaldo Muñoz Braz

Bibliografia

1. Manejo florestal. 2. Amazônia. 3. Pesquisa operacional. I. Título. II. Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais.

CDD 634.9



## TERMO DE APROVAÇÃO

Defesa Nº 40

**Débora Monteiro Gouveia**

### **“Planejamento e alocação otimizada de pátios para exploração em planos de manejo florestal sustentável na Amazônia.”**

Tese aprovada em 29/05/2023, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais, da Universidade Estadual do Centro-Oeste, pela seguinte Banca Examinadora:

Prof. Dr. Thiago Augusto da Cunha  
Universidade Federal do Acre  
Primeiro Examinador

Prof<sup>a</sup>. Dra. Jaqueline Macedo Gomes  
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão  
Segunda Examinadora

Prof<sup>a</sup>. Dra. Andrea Nogueira Dias  
Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Terceira Examinadora

Dr. Evaldo Muñoz Braz  
Embrapa  
Quarto Examinador

Prof. Dr. Julio Eduardo Arce  
Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Orientador e Presidente da Banca Examinadora

Irati – PR  
2023

Home Page: <http://www.unicentro.br>

**Campus Santa Cruz:** Rua Salvatore Renna – Padre Salvador, 875, Bairro Santa Cruz – Cx. Postal 3010 – Fone: (42) 3621-1000 – FAX: (42) 3621-1090  
CEP 85.015-430 – GUARAPUAVA – PR

**Campus Cedeteg:** Alameda Élio Antonio Dalla Vecchia, 838, Bairro Vila Carli – Fone: (42) 3629-8100 – CEP 85.040-167 – GUARAPUAVA – PR

**Campus de Irati:** Rua Professora Maria Roza Zanon de Almeida, Bairro Engenheiro Gutierrez – Cx. Postal, 21 – Fone: (42) 3421-3000

CEP 84.505-677 – IRATI – PR

A minha falecida Avó Albaniza por todo incentivo e ensinamento.

Dedico

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por proporcionar este tempo de estudo e reflexão, inspirando e cuidando em todos os momentos.

Aos meus pais Eduardo e Wemblheystowne pelo amor, incentivo, apoio e consolo durante toda a carreira acadêmica, me ensinando e orientando o caminho por qual seguir.

Ao meu irmão Diogo pelo apoio, brincadeiras, descontrações e compreensão pela minha ausência em momentos importantes.

Ao Rodrigo, meu companheiro de vida, pelo amor e carinho recebido, assim como também a paciência e por sempre estar ao meu lado.

À Universidade Estadual do Centro-Oeste, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e ao Departamento de Engenharia Florestal, pela acolhida, e os valiosos conhecimentos passados.

À CAPES e a Fundação Araucária, pela concessão de bolsa durante o período de realização do Doutorado.

Ao meu comitê de orientação Julio Arce, Eduardo Lopes e Fabiane Retslaff por toda ajuda e tempo dedicado, pelas palavras de conforto, pelo incentivo e por acreditar em minha pesquisa.

Aos amigos que conheci durante o período de realização do doutorado em especial ao Alysson, Bruna, Fábio, Irna, Júnior, Laura e Wheriton, que me apoiaram nessa etapa, seja ajudando na pesquisa, ou incentivando e acreditando no meu potencial, eu não conseguiria sem vocês.

À empresa florestal pela concessão das áreas de estudo, suporte técnico e principalmente por contribuir para o meu desenvolvimento profissional e pessoal.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Etapas do Plano de Manejo Florestal.....	12
<b>Figura 2.</b> Localização geográfica da área de estudo, UPA 17 - PA.....	37
<b>Figura 3.</b> Etapas de construção e conservação de estradas florestais.....	39
<b>Figura 4.</b> Estradas utilizadas durante o Manejo Florestal, UPA 17 - PA.....	39
<b>Figura 5.</b> Etapas da abertura de pátios de estocagem de madeira .....	40
<b>Figura 6.</b> Pátios de estocagem no Manejo Floresta - UPA 17 .....	40
<b>Figura 7.</b> Arraste de tora no Manejo Florestal - UPA 17.....	41
<b>Figura 8.</b> Etapas da operação de extração.....	41
<b>Figura 9.</b> Delineamento da análise do planejamento florestal. ....	44
<b>Figura 10.</b> Infraestruturas de estradas e pátios de estocagem no planejamento aprovado (UPA 17).....	46
<b>Figura 11.</b> Infraestruturas de estradas e pátios de estocagem executados na UPA 17.....	48
<b>Figura 12.</b> Localização geográfica da área de estudo, UPA 17 - PA.....	66
<b>Figura 13.</b> Divisão da Unidade de Produção, UPA 17- PA.....	68
<b>Figura 14.</b> Representação do algoritmo .....	72
<b>Figura 15.</b> Capacidade volumétrica utilizada por pátio - Modelo A para a área de Manejo Florestal - UPA 17 .....	75
<b>Figura 16.</b> Capacidade volumétrica utilizada por pátio - Modelo B para a área de Manejo Florestal - UPA 17. ....	76
<b>Figura 17.</b> Comparação entre modelos otimizados no Manejo Florestal, UPA 17. ....	78
<b>Figura 18.</b> Utilização de pátios de estocagem próximo a Áreas de Preservação Permanente e limite de Unidades de Trabalho. ....	79
<b>Figura 19.</b> Skidder arrastando mais de uma árvore utilizando uma única trilha na atividade de extração, na UPA 17. ....	80

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Descrição das atividades do Manejo Florestal Sustentável .....	13
<b>Tabela 2.</b> Descrição dos maquinários utilizados na construção e manutenção de infraestruturas na exploração florestal na área de estudo.....	42
<b>Tabela 3.</b> Relação de volume explorado por espécies no Manejo Florestal. ...	47
<b>Tabela 4.</b> Quantitativo de infraestruturas por unidade de trabalho (UT) no Manejo Florestal.....	49
<b>Tabela 5.</b> Resultados gerais das infraestruturas alocados no planejamento aprovado e executado no Manejo Florestal .....	51
<b>Tabela 6.</b> Estudos realizados na Amazônia referentes a densidade de estradas .....	52
<b>Tabela 7.</b> Estudos realizados na Amazônia referentes a pátios de estocagem	53
<b>Tabela 8.</b> Estudos realizados na Amazônia referentes a distâncias de arraste	55
<b>Tabela 9.</b> Quantitativo de árvores e pátios de estocagem para o processamento dos modelos. ....	69



## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2. OBJETIVOS .....	5
2.1. Objetivo Geral .....	5
2.2. Objetivos Específicos.....	5
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	6
3.1. Manejo florestal sustentável e legislação ambiental .....	6
3.2. Exploração florestal na Amazônia e suas peculiaridades .....	8
3.3. Planejamento Florestal .....	11
3.4. Planejamento em Florestas Naturais da Amazônia .....	12
3.5. Infraestruturas necessárias ao manejo florestal.....	14
3.6. Tecnologias de planejamento florestal na otimização de estradas e pátios de estocagem.....	18
3.7 Programação Linear Inteira (PLI).....	20
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	23
CAPÍTULO 1 – Planejamento das infraestruturas de exploração em floresta nativa manejada em regime sustentável na Amazônia .....	
1. INTRODUÇÃO .....	34
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	37
2.1. Localização e características da área de estudo .....	37
2.2. Planejamento de estradas .....	38
2.3. Abertura de pátios.....	40
2.4. Arraste .....	41
2.5. Maquinários utilizados na construção e manutenção de infraestruturas	42
2.6. Coleta de dados.....	43
2.7. Densidade de estradas (DE) e Distância máxima de arraste (Dmax) ....	43
2.8. Planejamento e execução do manejo florestal.....	43
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
3.1. Planejamento aprovado .....	45
3.2. Plano de manejo executado.....	46
3.3. Comparação entre planejamento e executado .....	49
4. CONCLUSÕES .....	57
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	58

CAPÍTULO 2 – Otimização de pátios de estocagem de toras em manejo florestal sustentável da Amazônia .....	63
1. INTRODUÇÃO .....	64
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	66
2.1. Localização e características da área de estudo .....	66
2.2. Floresta manejada .....	67
2.3. Volume .....	68
2.4. Pátios .....	68
2.5. Otimização .....	69
2.5.1 Restrições e função objetivo dos modelos.....	69
2.5.2 Modelo matemático.....	71
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	74
4. CONCLUSÃO.....	81
5. RECOMENDAÇÕES .....	82
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	83

## RESUMO

Débora Monteiro Gouveia. **Otimização de pátios de madeira em floresta submetida ao regime de manejo sustentável.** As empresas florestais estão constantemente em busca de qualidade, produtividade e redução de custos. O planejamento sustentado por ferramentas que auxiliem na tomada de decisão com uma visão integrada das operações são estratégias importantes para a garantia do manejo florestal. Entre as atividades, o dimensionamento, localização e abertura de estradas, trilhas de arraste e pátios de estocagem ocasionam muitos gastos. O objetivo deste estudo foi avaliar a infraestrutura existente para operações de exploração florestal e propor um modelo otimizado de alocação de pátios de estocagem de madeira em floresta submetida ao regime de manejo sustentável na Amazônia. O estudo foi realizado em uma fazenda florestal, localizada no estado do Pará em uma unidade de produção anual com área de 3.556,27 hectares. Inicialmente no capítulo I foi comparado o quantitativo e dimensionamento das infraestruturas aprovadas pelo órgão ambiental no plano de manejo florestal com as suas respectivas modificações ocorridas na execução da exploração florestal. Os resultados analisados evidenciam aumento na densidade de estradas, pátios e na distância máxima de arraste. O manejo florestal realizado, tanto no seu planejamento como em sua execução esteve em conformidade com as normas de legislação, todavia analisando o aproveitamento dessas infraestruturas sugere-se que a alocação destas pode ser melhor otimizada. Posteriormente no capítulo II, com base nesses resultados, foram analisados dois modelos por meio da programação linear inteira mista. Modelo A - sem penalizações e Modelo B - com penalizações de custo. O modelo identifica locais ótimos de alocação de pátios, regido por restrição de distância e volume máximo estocado. Foram alocados 311 possíveis pátios de estocagem para atender a demanda de 16.425 árvores exploráveis. Avaliou-se os resultados por meio da distância euclidiana árvores-pátio e pelo planejamento da exploração florestal. Na análise, o Modelo A apresentou melhor desempenho em relação a redução do somatório das distâncias de deslocamento entre árvores-pátios. O Modelo B teve melhor desempenho na uniformidade da quantidade de madeira a ser armazenada e na redução de impactos ocasionado pela abertura dessa infraestrutura. Foi possível concluir

que a solução encontrada por estes modelos tratam-se de um caminho de menor dano acumulado, certamente soluções viáveis que podem ser adotadas pela empresa.

**Palavras-chave:** Manejo florestal, Amazônia, pesquisa operacional.

## ABSTRACT

Débora Monteiro Gouveia. **Optimization of storage yards in a forest subjected to a sustainable management regime.** Forest companies are constantly searching for quality, productivity and cost reduction. Planning supported by tools that help in decision-making with an integrated view of operations are important strategies to guarantee forest management. Among the activities, the dimensioning, location and opening of roads, skid trails and storage yards cause a lot of expenses. The objective of this study was to evaluate the existing infrastructure for forestry operations and to propose an optimized model for the allocation of wood storage yards in forests subject to a sustainable management regime in the Amazon. The study was carried out in a forestry company, located in the state of Pará, in an annual production unit with an area of 3,556.27 hectares. Initially, in Chapter I, the quantity and dimensioning of the infrastructures approved by the environmental agency in the forest management plan were compared with their respective modifications that occurred in the execution of the forest exploitation. The analyzed results show an increase in the density of roads, yards and in the maximum skidding distance. The forest management carried out, both in its planning and in its execution, was in accordance with the legislation norms, however analyzing the use of these infrastructures it is suggested that their allocation can be better optimized. Later in Chapter II, based on these results, two models were analyzed using mixed integer linear programming. Model A - without penalties and Model B - with cost penalties. The model identifies optimal yard allocation locations, governed by distance constraints and maximum stocked volume. 311 possible storage yards were allocated to meet the demand for 16.425 exploitable trees. The results were evaluated by means of the Euclidean tree-yard distance and by the planning of forest exploitation. In the analysis, Model A performed better in terms of reducing the sum of displacement distances between trees-yards. Model B performed better in the uniformity of the amount of wood to be stored and in the reduction of impacts caused by the opening of this infrastructure. It was possible to conclude that the solution found by these models is a path of less accumulated damage, certainly viable solutions that can be adopted by the company.

**Keywords:** Forest management, Amazon, Operational Research.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é um país florestal com aproximadamente 493,5 milhões de hectares cobertos por florestas, sendo que 485,8 milhões de hectares são florestas nativas (FRA, 2015). Dentre as diferentes florestas existentes no país, a Floresta Amazônica aparece como sendo de grande importância mundial, pois é a maior floresta tropical úmida, detentora da maior reserva de recursos florestais e da maior diversidade do planeta. Em razão dessa diversidade, inúmeras são as exigências da humanidade para a conservação desse rico ecossistema. Várias medidas foram tomadas para se chegar a essa meta e uma delas é a adoção de planos de manejo que visam utilizar a floresta de forma racional e sustentável.

Apesar do manejo sustentável ser considerado uma atividade econômica que possibilitará a manutenção da cobertura florestal nativa, ainda persistem lacunas a serem aperfeiçoadas, como por exemplo: ciclo e taxa de corte que utilizam normas fixas ao invés de levar em consideração características específicas de sítios; Abordagens sobre “manejo adaptativo” e “governança local” que são princípios essenciais para conservação dos recursos naturais ainda são pouco discutidas em estudos na Amazônia; Dados estatísticos e a transparência sobre o setor florestal são limitadas ou bastantes frágeis existindo diferenças significativas (quando disponíveis) nos números coletados junto aos órgãos ambientais (IBAMA e Órgãos Estaduais de Meio Ambiente), Secretarias de Fazenda (SEFAZ) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), fato que prejudica a adoção de boas políticas públicas; A falta de critérios no planejamento de infraestruturas florestais em planos de manejo na Amazônia; entre outros (BRAZ et al, 2013; RIBAS et al, 2017; IFT, 2018; LIMA, 2018).

Uma atividade considerada importante nos planos de manejo florestal é a localização dos pátios de estocagem da madeira, pois influencia diretamente nos custos da exploração, disposição e custos de construção das estradas, rendimento e custos do arraste da madeira, sendo estas as atividades mais onerosas na exploração florestal e na geração de impactos ambientais (BRAZ; D'OLIVEIRA, 1997; CONTRERAS; CHUNG, 2007; MACHADO, 2013). E tal fato possui um peso ainda maior no bioma Amazônico devido à alta precipitação

durante a estação chuvosa que pode apresentar períodos diferentes conforme a localidade. Durante o período chuvoso existem restrições para realização das atividades de corte, arraste e transporte da madeira, sendo permitida apenas a manutenção de estradas e o transporte das toras de pátios de estocagem, se existirem, para fora da Unidade de Manejo Florestal (UMF), utilizando as estradas principais.

Tradicionalmente, a operação de alocação dos pátios de estocagem não possui critérios e metodologias específicas para a sua realização, sendo realizados manual por engenheiros florestais. Além de ser um processo demorado, possuem baixa precisão e qualidade, ocasionando maiores danos ao meio ambiente, diminuição da produtividade, acarretando em elevados custos as operações e redução do valor comercial da floresta no futuro (SILVA et al, 2018). Na prática, a escolha das espécies comerciais para o manejo e distribuição destas no ambiente florestal natural é heterogêneo, observa-se também que os planos de manejo desconsideram o ponto de equilíbrio entre a distância das estradas secundárias e a distância média de arraste segundo o potencial da tipologia florestal, conseqüentemente superdimensionam a abertura de pátios de estocagem de madeira e alocam em áreas com baixo potencial madeireiro e densidades inadequadas de estradas (EMMERT, 2014; SILVA et al, 2018).

Um planejamento mal realizado gera aumento nos custos de exploração, construção e manutenção das estradas, além de danificar a vegetação remanescente com maior intensidade, sem que haja necessidade, comprometendo o estoque de madeira futura e a sustentabilidade da produção (SILVA, 2014). Os pátios planejados, na maioria dos planos de manejo, possuem tamanho igual e são distribuídos em intervalos regulares ao longo da estrada. A alocação sistemática só é recomendada para áreas planas e com uniformidade no solo e no volume de madeira (AMARAL et al., 1998; FFT, 2002). Como essas características não são comuns em floresta nativa pode-se dizer que esse modelo não é apropriado, tendo em vista a diversidade, distribuição de espécies e idades diferentes das árvores exploráveis. Além disso, a definição das áreas de preservação permanente (APP) é um ponto crucial no manejo florestal de florestas inequiduais, pois não é permitido realizar abertura de pátios dentro destas, sendo previstas em lei.

As mudanças nos modelos de planejamento da exploração de madeira podem reduzir em até 16% a quantidade de infraestrutura alocada no interior das áreas de manejo florestal e, por consequência, minimizar os efeitos causados ao ecossistema (COSTA, 2015). Por isso, para alcançar alternativas que apontem para uma melhor segurança financeira e ambiental pode-se empregar no planejamento florestal o uso combinado das ferramentas de Sistema de Informação Geográfica (SIG) e Pesquisa Operacional (PO). Os SIG contribuem para um correto ordenamento florestal, proporcionando uma análise abrangente dos espaços florestais e permitindo a geração de estimativas de grande precisão a partir da sua capacidade de combinações e integrações. Já os métodos de PO buscam formas de resolver problemas de otimização, que se trata da maximização ou minimização de funções de uma ou mais variáveis em um determinado domínio. O uso dessas tecnologias tem tornado as atividades de exploração cada vez mais criteriosas e tomado lugar de destaque (BRAZ et al., 2014; SILVA, 2014), pois a complexidade e magnitude de informações desafiam a capacidade humana na resolução de problemas.

Com a utilização desses recursos computacionais, modelos representativos podem ser gerados, permitindo a aplicação e a análise em sistemas reais para extrair informações importantes para auxiliar na tomada de decisões como sequência ótima de execução das atividades, melhor layout dos pátios e estradas, maximizar a produtividade e minimizar os custos de produção. Os modelos desenvolvidos vêm a contribuir nas operações de planejamento e a regulação do fluxo de madeira, uma vez que a heterogeneidade de espécies de interesse comercial varia conforme o ano de exploração.

Alguns estudos foram desenvolvidos na região amazônica brasileira envolvendo planejamento de infraestruturas florestais, SIG e Pesquisa operacional como: comparar o emprego da metaheurística e Programação Linear Inteira (PLI) na solução de problemas de pátios de estocagem no estado do Pará (MARTINHAGO, 2012); Combinação de informações técnicas da exploração florestal com métodos computacionais SIG, *Interface Definition Language* - IDL e o algoritmo ARIMA a fim de comparar o planejamento da empresa alvo do estudo no estado do Amazonas com métodos computacionais (EMMERT, 2014); Utilização da ferramenta de PLI a fim de minimizar os deslocamentos de arraste das toras aos pátios de estocagem no estado do Acre



(SILVA, 2018); Utilização do Algoritmo de Dijkstra (DA) para definir a alocação ótima de pátios a fim de minimizar a distância total das trilhas de arraste (SALES et al, 2019); Viabilidade do modelo de elevação digital do terreno e PLI no planejamento de pátios de estocagem (SILVA et al, 2020); Eficácia e eficiência das metaheurísticas em planejamento de pátios de estocagem (AGUIAR et al, 2020).

Neste aspecto, considerando a importância socioeconômica e ambiental da produção de madeiras tropicais para o Brasil na região amazônica ainda na literatura existem poucos trabalhos abordando a Programação Linear Inteira Mista – PLIM na alocação de pátios de estocagem em florestas nativas. O desenvolvimento de modelos matemáticos e comparações de cenários aliando SIG e PLIM, foco deste estudo na otimização dos pátios de estocagem da madeira é extremamente importante e necessário para alcance da maximização da produtividade, minimização dos custos de produção, execução das operações de forma ambientalmente correta dentro de uma resposta ótima para problemas complexos e de difícil solução em florestas nativas.

Diante do exposto, o presente estudo buscou responder às seguintes questões centrais: i) As abordagens tradicionais adotadas são ineficientes no aproveitamento de toda a infraestrutura nas operações de arraste e construção de estradas e pátios de estocagem de madeira? ii) O manejo florestal sustentável aliado às ferramentas de Sistemas de Informação Geográficos e Programação Linear Inteira, aplicadas para otimizar a alocação de estradas e pátios de estocagem reduzirão as distâncias de arraste e minimizarão os impactos ambientais?

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

Avaliar o modelo de planejamento das infraestruturas florestais combinando informações técnicas provenientes de dados de campo e pesquisa operacional visando a otimização de alocação de pátios de estocagem de madeira em floresta submetida ao regime de manejo sustentável na Amazônia.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- a) Comparar o planejamento de infraestruturas (densidade de estradas e pátios de estocagem) aprovados em licenciamento em relação ao planejamento executado no plano de manejo florestal;
- b) Propor um modelo para otimização dos pátios de estocagem de madeira;

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. Manejo florestal sustentável e legislação ambiental**

O Brasil possui aproximadamente 60% do seu território recoberto por florestas nativas e plantadas, destacando-se a Floresta Amazônica, que é a segunda maior cobertura florestal do mundo integrada por inúmeras espécies valiosas e de grande interesse econômico, tornando uma das maiores produtoras de madeira tropical (HUMMEL et al., 2010; SFB, 2017; MUNIZ; PINHEIRO, 2019). Os recursos florestais são considerados como ativo financeiro para o desenvolvimento social e econômico, e são bens renováveis (HANEWINKEL et al., 2014).

A compreensão dos serviços fornecidos pelas florestas motivou a humanidade a preocupar-se com a conservação dos recursos florestais, iniciando um processo de formulação de medidas para proteção desta fonte de bens renováveis (SIVIEIRO et al., 2020), de modo que a floresta, quando manejada, poderá ser uma fonte contínua de suprimentos madeireiros e não madeireiros para atendimento às necessidades humanas (VIEIRA et al., 2014; AMARAL et al., 2019).

O conceito de manejo florestal foi introduzido com a realização dos primeiros inventários florestais executados por peritos da FAO em 1950. Atualmente, existem alguns conceitos descritos na literatura, variando conforme a finalidade ou objetivo no qual está direcionada. Segundo Higuchi (1994), o manejo florestal consiste em conduzir um conjunto de fundamentos, técnicas e normas que visam organizar as atividades necessárias para demandar os fatores de produção e controlar a sua produtividade e eficiência para alcançar objetivos estabelecidos. Para Scolforo (1998), o manejo florestal está direcionado no conceito da utilização de forma comedida e sustentado dos recursos florestais, de modo que as gerações futuras possam dispor dos mesmos benefícios da geração presente. Pela legislação, o manejo florestal consiste na administração da vegetação nativa para a obtenção de benefícios econômicos, sociais e ambientais, respeitando os mecanismos de sustentação do ecossistema, utilizando múltiplas espécies e múltiplos produtos e subprodutos da floresta, bem como outros bens e serviços (BRASIL, 2012).

Além dos diversos conceitos, também existem diversas denominações para manejo florestal: Manejo de Impacto Reduzido, que foi introduzido pela Fundação Floresta Tropical (FFT); Manejo Florestal de Baixo Impacto, elaborado pela empresa Precious Woods Amazon; Manejo de Precisão, elaborado pela Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária (Embrapa), Projeto Bom Manejo (Embrapa/CIFFOR/ITTO) e Modelo Digital de Exploração Florestal (MODEFLORA), porém todos adotam os princípios do manejo florestal de acordo com a legislação (AMARAL, 2013).

No Brasil, várias iniciativas foram instituídas, especialmente por meio do Código Florestal e outras normas. O manejo da Floresta Amazônica está previsto no Código Florestal de 1965 (Artigo 15), mas na realidade somente em 1994, pelo decreto nº 1.282 foi exigido à exploração sob forma sustentável, com base nos princípios gerais e fundamentos técnicos (WOLFF, 2000; GARRIDO FILHA, 2002; MMA, 2008), ou seja, estas florestas só poderiam ser utilizadas por meio de planos de manejo. Este tipo de manejo busca reduzir os impactos causados pela exploração e assegurar a sustentabilidade da produção florestal por meio do planejamento da exploração madeireira que atenda aos critérios sociais, econômicos e ambientais (SOUZA et al., 2017).

A prática do manejo florestal é regida também por normas jurídicas como a Decreto 5.975/2006, Resolução CONAMA 406/2009 e Instruções Normativas MMA 04 e 05/2006, que estabelecem parâmetros técnicos a serem adotados na elaboração, apresentação, avaliação técnica e execução de Plano de Manejo Florestal Sustentável - PMFS - nas florestas primitivas e suas formas de sucessão na Amazônia Legal (BRASIL, 2006a; BRASIL, 2006b; BRASIL, 2009; BRASIL, 2012; BRASIL, 2014).

As categorias de planos de manejo se classificam nas seguintes categorias conforme a IN 05 de 2015 (SEMÁS):

I – Quanto a dominialidade da floresta: PMFS em floresta pública e privada;

II – Quanto ao detentor: PMFS individual (pessoa física), empresarial, comunitário, floresta pública, floresta estadual ou municipal;

III – Quanto aos produtos decorrentes do manejo: PMFS para a produção madeireira, produtos florestais não madeireiros – PFNM, e para múltiplos produtos;

IV – Quanto a intensidade da exploração: PMFS de baixa intensidade e pleno;

V – Quanto ao ambiente predominante: PMFS em floresta de terra firme, em floresta de várzea;

VI – Quanto ao estado natural da floresta manejada: PMFS de floresta primária não explorada, secundária e floresta primária parcial ou integralmente explorada;

VII – Quanto ao tamanho da UMF e número da UPA: PMFS com UPA única, com mais de uma UPA cujo o número, porém não completa um ciclo de corte e com mais de uma UPA cujo número é igual ao ciclo de corte.

Segundo o código florestal o ciclo de corte deve ser compatível com o tempo de restabelecimento do volume de produto extraído da floresta. Salvo estudo específico para a floresta manejada (UMF), aprovado pelo órgão ambiental competente, fica estabelecido que a intensidade de corte inicial, proposta no PMFS, a ser autorizada levará em consideração os seguintes aspectos: a estimativa da produtividade anual da floresta manejada para o grupo de espécies comerciais será de 0,86 m<sup>3</sup>/ha/ano; o ciclo de corte inicial será de, no mínimo, 10 (dez) anos e, no máximo, 35 (trinta e cinco) anos; e a estimativa da capacidade produtiva da floresta manejada.

Dessa forma, as medidas legais devem assistir e fortalecer o uso racional da floresta com base em resultados de pesquisas visto que o manejo das florestas nativas é uma das principais alternativas de uso da terra para mantê-las em pé, contribuindo assim na proteção florestal, conservação da biodiversidade e na própria geração de renda (BRAZ et al., 2012; BRANDT et al., 2016; SCHWARTZ et al., 2017; SALES et al., 2019).

### **3.2. Exploração florestal na Amazônia e suas peculiaridades**

As florestas inequidâneas naturais representam uma população em diferentes níveis, com diâmetros, estruturas, altura e composição florística, resultantes da interação entre os fatores edáficos e climáticos (SILVA et al., 2018b). Ao analisar o manejo florestal como investimento financeiro, este tem como atributo principal o elevado custo inicial e horizonte de planejamento que podem variar em ciclos de corte de 10 a 35 anos (RODRIGUES, 2020).

A região Amazônica é a principal produtora de madeira de florestas naturais no Brasil. Estima-se que a Amazônia colaborou com mais de 85% da madeira de florestas naturais em toras explorada no país ao longo do tempo, e considerando entre o período de 2009 e 2011, esse percentual foi equivalente a 92% (VERÍSSIMO; PEREIRA, 2014), mantendo-se estável no período compreendido entre 2011 e 2018 (RODRIGUES, 2020). Em termos financeiros, a exploração de árvores de interesse comercial está entre as principais atividades econômicas da Amazônia, com uma receita bruta estimada em US\$ 2.482,60 milhões por ano (PREDIGER, 2019).

A exploração madeireira é uma atividade fundamental no manejo florestal, e envolve as operações desde a derrubada dos indivíduos arbóreos até o deslocamento das toras para os pátios intermediários ou finais de recebimento e estocagem (EMMERT, 2014). As atividades preliminares a serem realizadas no manejo florestal são o inventário florestal; o mapeamento das árvores selecionadas; e o planejamento de trilhas de arraste, estradas e pátios de estocagem de madeira (SABOGAL et al, 2000).

Na etapa de derrubada das árvores, o método mais usado é o semimecanizado com uso de motosserras para a derrubada, desganhamento e traçamentado do fuste. O uso das motosserras possui como uma das maiores vantagens o baixo custo de aquisição e a possibilidade de atuação em qualquer tipo de terreno, enquanto em termos de desvantagens, cita-se a sua elevada periculosidade e seu baixo rendimento por unidade de área em comparação com os métodos mecanizados (MINETTI et al., 2000; SANTA'ANNA, 2002). As técnicas de derrubada de árvores foram aperfeiçoadas ao longo dos anos para as espécies amazônicas. Para a derrubada das árvores devem ser seguidos os princípios básicos como a retirada prévia de cipós, marcação e identificação de árvores selecionadas, adoção de medidas de segurança (teste do oco, caminhos de fuga), treinamento de equipes de trabalhadores e aplicação de técnicas para o direcionamento da queda das árvores com uso de equipamentos adequados (SABOGAL et al., 2000; IFT, 2012).

Nas operações extração (arraste) das toras do local de derrubada até o pátio de estocagem de madeira tem sido usado o trator florestal arrastador *skidder*, normalmente 4x4, podendo ser equipado com garra ou cabo, bem como o uso de trator com lâmina e guincho, enquanto na operação de abertura das

estradas, pátios e trilhas de arraste é utilizado um trator de esteira equipado com lâminas (SABOGAL et al., 2000). Na extração da madeira devem ser levadas em consideração a topografia, o solo, o clima e o sistema silvicultural a ser empregado. Os princípios a serem seguidos são o treinamento de pessoal, minimização de danos às árvores remanescente e ao solo, manutenção de equipamentos, e a maximização da produtividade (FAO, 1998; SOUZA; PIRES, 2009).

Na Amazônia Brasileira, o arranjo de exploração mais propagado baseia-se na demarcação de unidades de trabalho de 100 ha (1.000 m x 1.000 m). Dentro dessas unidades são planejadas e construídas duas estradas secundárias distantes de 500 m entre si, permitindo uma distância máxima de arraste de 250 m, em função da localização dos pátios de estocagem (BRAZ, 1997; ROCHA et al., 2007).

A aplicação das técnicas de impacto reduzido determinadas pela legislação gera elevação nos custos da exploração florestal, principalmente nos investimentos iniciais. Os custos são variáveis entre as diversas regiões manejadas, mas quando comparados a exploração convencional, à exploração manejada apresenta custos totais por metro cúbico menores que a exploração convencional e uma renda líquida maior entre 20 e 35% (BOLTZ et al., 2003; HOLMES et al., 2004; ROTTA et al., 2006). Os benefícios econômicos a longo prazo, ganhos em produtividade e reduções no desperdício de madeira nas atividades superam esses custos elevados quando se faz a adoção de práticas autorizadas (exploração manejada), tanto para o proprietário, como para as empresas florestais.

Estima-se que o custo do planejamento da exploração é de US\$ 72/ha, ou de US\$ 1,75 a 2,15/m<sup>3</sup>, sendo que o mapeamento, o corte de cipós, o planejamento do arraste e a aplicação das técnicas de queda direcional proporcionam uma redução de 37% no tempo da máquina e aumento de 27% na produtividade da operação, além de um benefício financeiro duas vezes maior que o custo do planejamento (BARRETO et al., 1998; FFT, 2002; PINHO et al., 2009). Os custos de treinamento tendem a ser recuperados em ganhos de eficiência e seus custos são amortizados ao longo de vários anos de operações de exploração.

Os danos ocasionados pela exploração florestal levam em consideração

a intensidade de corte ( $m^3.ha^{-1}$ ); o arranjo, dimensão e quantidade de pátios; as estradas e trilhas de arraste; as técnicas empregadas na derrubada das árvores; o tipo de maquinário utilizado na construção de estradas e no arraste das toras, com as dimensões dos indivíduos derrubados e a densidade da própria floresta (GULLISON; HARDNER, 1993; ASNER et al., 2002; FELDPAUSCH et al., 2005). Diante disso, vale ressaltar a importância nas técnicas de planejamento e do seguimento da legislação vigente para que esta atividade cause o menor impacto possível.

### **3.3. Planejamento Florestal**

O planejamento florestal pode ser definido como sendo uma identificação de atividades técnicas e administrativas integradas ao longo do tempo que proporcionam uma situação viável de forma rápida, coerente e eficiente, que serão necessárias para atingir os objetivos dentro do manejo florestal (SESSIONS; BETTINGER, 2001; MALINOVSKI, 2007).

Na consideração dos grandes níveis hierárquicos da gestão de processos, se distinguem três tipos de planejamento: estratégico, tático e operacional (ASSUMPÇÃO, 1996; ANDERSSON, 2005; WERNEBURG, 2015; MACHADO, 2014). O planejamento estratégico tem informações em menor grau de detalhamento e relaciona temas ligados, principalmente, a fatores sociais, técnicos, industriais, econômicos, demográficos, ecológicos e de legislação local, a fim de atingir seus objetivos a longo prazo. No planejamento tático se subsidia decisões, os quais levam à escolha dos empreendimentos a serem implementados, são incluídas restrições, como o custo de abertura de estradas, a definição do regime de manejo adotado, análise de oferta e demanda do mercado, planejamento de estradas e suas densidades. O planejamento operacional discute as estratégias e metas de produção, determinação das estradas secundárias, trilhas, pátios e equipamentos (REBOUÇAS, 2002; MITCHELL, 2004; SESSIONS, 2007b; KANGAS et al., 2008).

O planejamento florestal, devido à sua natureza requer o uso combinado de medidas quantitativas e qualitativas e tem como característica principal, a resolução de problemas envolvendo elevado número de variáveis, longos horizontes de planejamento, variações de clima e mudanças de mercado, tais

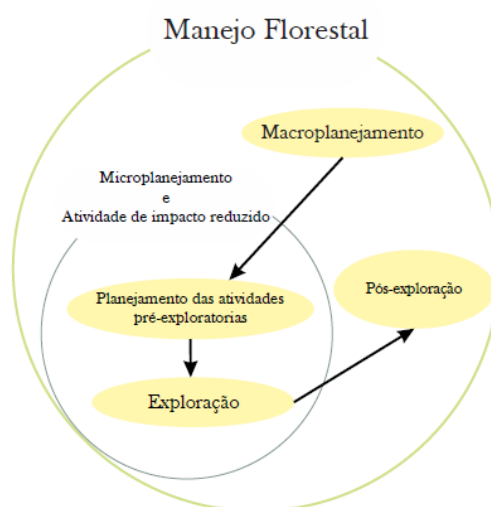


como flutuações de preços, de oferta e de demanda (MACHADO, 2002; NASCIMENTO et al., 2012). Alguns dos fatores que influenciam nas operações de exploração e que necessitam ser considerados no planejamento são: povoamento, topografia, objetivos da madeira, demanda da indústria, regime de manejo, recursos financeiros disponíveis, rendimentos e custos dos maquinários, grau de mecanização, capacidade de suporte do terreno, condições climáticas, sistemas de colheita, logística, ergonomia das máquinas e equipamentos, segurança, treinamento etc. (MACHADO, 2014).

Além disso, um planejamento eficiente permite a otimização das operações, visualização de todos os cenários e métodos possíveis para resolução de problemas de forma preventiva, a melhoria da qualidade do produto e serviço, a minimização dos impactos ambientais, a melhoria das condições de saúde e segurança dos trabalhadores, o aumento da produtividade, eficiência econômica e a redução dos custos (CHUNG et al., 2004; REBOUÇAS, 2002; MACHADO; LOPES, 2008; FARIA, 2012; FERNANDES et al., 2013).

### 3.4. Planejamento em Florestas Naturais da Amazônia

As técnicas de planejamento da exploração florestal foram aprimoradas ao longo os anos. Balieiro et al. (2010) definem quatro grandes etapas do Plano de Manejo Florestal: Macroplanejamento da exploração florestal; Planejamento das atividades pré-exploratórias; Exploração dos recursos florestais; e Atividades pós-exploratórias (Figura 1).



**Figura 1.** Etapas do Plano de Manejo Florestal

Fonte: Silva 2015 adaptado de Balieiro et al. (2010)

Um adequado planejamento para melhor ser entendido pode ser dividido em etapas, levando em consideração a legislação vigente que dispõe sobre procedimentos técnicos para elaboração, apresentação, execução e avaliação técnica de Plano de Manejo Florestal Sustentável – PMFS (BRASIL, 2015) (Tabela 1).

**Tabela 1.** Descrição das atividades do Manejo Florestal Sustentável

<b>ATIVIDADES</b>	<b>PROCEDIMENTOS</b>
Pré-exploratórias	Determinação e alocação das Unidades de Produção anual (UPA) e Unidades de Trabalho (UT) Inventário 100% Corte de cipós Planejamento para implantação e construção das infraestruturas Seleção de árvores para corte e manutenção Instalação e medição de Parcelas Permanentes
Exploração	Métodos de corte e derrubada Abertura dos pátios Planejamento do arraste Métodos de extração da madeira Romaneio e empilhamento (rastreadabilidade do produto) Métodos de extração de resíduos florestais
Pós-exploratório	Inventário contínuo Avaliação de danos e desperdícios Tratamento silvicultural Manutenção da infraestrutura

Fonte: adaptado de Brasil (2015)

A realização do manejo florestal requer uma avaliação jurídica, geotecnológica e de viabilidade técnica e ambiental perante os órgãos responsáveis. O proponente realiza a descrição do ambiente físico, biológico e socioeconômico, evidenciando a tipologia predominante e o atual uso da terra. Com o auxílio de mapas, as informações de macrozoneamento da propriedade são delimitadas, sendo: áreas produtivas para fins de manejo florestal, áreas de preservação permanente (APP), área de reserva legal (RL), localização das unidades de produção anual (UPA) e unidades de trabalho (UT) (BRASIL, 2012; BRASIL, 2015).

Após esta etapa, a equipe de campo realiza o inventário censitário que

dará suporte para definir as espécies florestais a serem manejadas e protegidas, a regulação da produção (produção anual planejada, intensidade e ciclo de corte), dimensionamento das equipes e a instalação de parcelas permanentes que servirão de controle para o monitoramento da floresta após a atividade de exploração. Um ano antes da exploração é então realizado o corte de cipós, que busca diminuir os riscos de acidentes de campo e maiores impactos ambientais à floresta remanescente (BRASIL, 2015).

De posse de todas as informações e aprovação do órgão responsável, a equipe poderá iniciar a implantação e a construção das infraestruturas necessárias (acampamento, estradas, abertura de ramais, pátios de estocagem, trilhas de arraste de toras). A etapa de exploração consiste na execução da derrubada dos indivíduos arbóreos, de modo a otimizar a atividade. Algumas empresas utilizam uma equipe para o corte e outra para dar continuidade no desgalhamento das árvores e traçamento do fuste. Em seguida, após a derrubada, as toras são normalmente arrastadas pelas trilhas até os pátios de estocagem onde serão devidamente identificadas (cadeia de custódia), e inicia-se, o processo de carregamento, transporte principal e descarregamento da madeira no local de destino final (BRASIL, 2015).

Um método utilizado é o *CELOS Harvesting system (CHS)*, que utiliza as operações de guinchamento (pré-arraste) e arraste para a extração de toras. Este adota a distribuição em intervalos regulares de 100 a 150 m para as trilhas de arraste e também uma sistematização no arranjo de pátios de estocagem, com uma equidistância de distribuição padronizada (GRAAF, 1982; JONKERS; SCHIMIDT, 1984; GRAAF, 1987; JONKERS; HENDRISON, 2011).

As atividades pós-exploratórias envolvem o monitoramento, avaliação da atividade, manutenção e tratamentos silviculturais, que são de suma importância, pois visam aumentar o valor futuro da floresta e gerar benefícios ecológicos para as espécies comerciais e devem ser desenvolvidas ao longo de todo o ciclo para que assim, a floresta possua suporte necessário para uma próxima exploração (HOLMES et al., 2002; CARIELLO, 2008; IFT, 2012).

### **3.5. Infraestruturas necessárias ao manejo florestal**

A infraestrutura florestal é o principal elemento de contexto do padrão

espacial do corte seletivo de madeira. Para que o manejo florestal seja praticado, é necessária a abertura da infraestrutura florestal que podem ser permanentes e/ou temporárias, constituída de pátios de estocagem, estradas primárias e secundárias, pontes, bueiros, pista de pouso, represas e acampamentos. A construção de estradas, a alocação de pátios de armazenamento e trilhas de arraste variam entre estudos e regiões. O traçado dessa rede tem influência inicial em duas situações principais: volume de madeira disponível em relação à sua distribuição e o relevo e/ou hidrografia da área (BRAZ, 2005; SILVA, 2014).

As estradas florestais têm como finalidade principal permitir o acesso às áreas de manejo, viabilizando o tráfego de mão de obra e de produção, que é indispensável para a implantação, proteção, extração e transporte de produtos florestais. No manejo florestal, as estradas principais são largas e com melhor acabamento para o escoamento da produção até o centro consumidor, sejam de veículos leves, pesados, e são construídas com desvios suaves onde houver árvores matrizes, árvores para a exploração futura ou árvores de diâmetro à altura do peito (DAP) maior que 45 cm (AMARAL et al., 1998; LOPES et al., 2002).

A largura da estrada principal dependerá dos veículos a serem usados no transporte das toras, dimensões das unidades de manejo florestal (UMF) e volume de matéria prima a ser transportado. Segundo Rocha et al., (2007) a característica principal desta estrada é possuir largura média de 8 a 10 m, inclinação máxima de 8 a 10% e raio mínimo de 30 m nas curvas.

As estradas secundárias são localizadas dentro das unidades de trabalho (UT's), onde conectam as estradas principais às áreas de exploração. Estas estradas apresentam qualidade intermediária e devem ser construídas na estação seca do ano que precede à exploração ou ainda mais cedo, isto é, duas ou até três estações secas antes da exploração. Isso permitirá a estabilização do pavimento, que geralmente possuem leito de três a quatro metros (MACHADO; MALINOVSKI, 1986; LOPES et al., 2002; IFT, 2012; BRASIL, 2015).

Os ramais de arraste são as vias utilizadas pelos tratores para o arraste das toras do local de corte até os pontos de descarregamento nas estradas secundárias, sendo responsáveis pela conexão entre a área de corte e os pátios de estocagem. Estas trilhas são abertas pelo trator de esteira ou *skidder* de modo

que danifiquem menos possível os solos e as árvores adjacentes das trilhas, que é ainda facilitado pelo direcionamento da queda da árvore e pela sinalização de onde a máquina deverá passar para buscar a tora, segundo as informações do inventário 100% e dos mapas de corte/arraste. Em sua maioria, esses remais possuem largura média de aproximadamente 3,5 m (ROCHA et al., 2007; IFT, 2012).

Os pátios florestais são instalados para a estocagem temporária das toras na floresta. Os pátios são construídos com um trator de esteiras, em lugares secos e de preferência em clareiras, áreas cipoálicas ou em partes de floresta em fase de construção (com presença apenas de árvores de pequeno diâmetro). A quantidade, distribuição e localização depende do volume existente na unidade de trabalho (UT), não somente o volume a extrair na exploração presente, como também as árvores que potencialmente comporão futuras explorações (BRASIL, 2015).

As dimensões dos pátios podem variar de acordo com as dimensões dos troncos a serem arrastados, e devem permitir o trabalho sistemático das atividades de carregamento, traçamento (se for realizado no pátio) e movimentação do trator de arraste. Como regra geral, recomenda-se não planejar pátios com dimensões acima do que for estritamente necessário. Os pátios com dimensões de 20 X 25 m, faixas de circulação laterais para entrada e saída dos maquinários têm dado bons resultados em operações planejadas na Amazônia. A distribuição dos pátios de estocagem deve ser otimizada para facilitar o arraste e não exceder a distância ideal, evitando maior dano a floresta e custos desnecessários (SABOGAL et al., 2000; MARTINHAGO, 2012; BRASIL, 2015).

O planejamento da localização sistemática dessas infraestruturas no manejo é de extrema importância em razão dos períodos, que podem variar semanas, meses e até anos, sendo atividades sujeitas a mudanças abruptas do clima (PREDIGER, 2019). O planejamento eficiente garante economicidade e maior segurança, pois infraestruturas bem planejadas facilitam a orientação do tratorista durante sua construção, permitem a diminuição do tempo de trabalho da máquina e evitam danos desnecessários à floresta, além de permitir um tráfego seguro. Do ponto de vista ambiental, estima-se que 80% dos danos à floresta são gerados no momento de construção de obras e infraestruturas

(Holmes et al. 2002) e, portanto, um bom planejamento é fundamental. Para isso, é preciso investir na capacitação das equipes. Áreas de relevo acidentado, com presença de rios, grotões, igapós ou outros elementos que dificultam o planejamento e a construção das estradas, requerem equipes mais experientes e especializadas para permitir uma maior eficiência do planejamento.

Tradicionalmente, o planejamento da infraestrutura rodoviária florestal, pátios de estocagem de madeira e ramais nos planos de manejo localizados na Amazônia brasileira é realizado empiricamente por engenheiros florestais. O uso do planejamento empírico é realizado de acordo com a experiência dos engenheiros, usando ferramentas como mapas topográficos e banco de dados espacial, com informações do terreno para auxiliar na tomada de decisão (LIU; SESSIONS, 1993; BASKENT; KELES, 2005).

O planejamento empírico de infraestrutura leva à perda de desempenho econômico, de produtividade, consiste em um processo demorado, sem uma ideia clara da proximidade de uma ótima solução, ocasionam imprecisões na quantificação, dimensionamento, arranjo e danos ao meio ambiente (EZZATI et al., 2015). Desta forma, pode-se dizer que se trata de um processo empírico e intuitivo, sofrendo da forte influência do componente humano, ou seja, depende fortemente da experiência de quem executa o trabalho. Além disso, o tempo de elaboração está linearmente associado à quantidade de área a ser planejada, com flexibilidade reduzida caso o planejamento precise ser alterado, que torna difícil comparar diferentes planos propostos.

No processo de planejamento das infraestruturas o dimensionamento, arranjo e distanciamento de estradas, pátios de armazenamento e trilhas de arraste é feito conjuntamente. No entanto, o ponto ideal desses relacionamentos ainda está sendo explorado. Estudos sobre este assunto ainda estão sendo desenvolvidos, à medida que os pesquisadores tentam determinar um equilíbrio que otimize as características ambientais, técnicas, jurídicas, sociais e econômicas. Assim, algumas demandas tecnológicas e metodológicas ainda são pertinentes para melhorar o planejamento do manejo florestal de precisão.

### 3.6. Tecnologias de planejamento florestal na otimização de estradas e pátios de estocagem

Várias ferramentas são utilizadas para auxiliar na exploração florestal, como as geotecnologias e as técnicas matemáticas aliadas à softwares. As geotecnologias vêm sendo utilizadas para contribuir na tomada de decisão do ponto de vista espacial do planejamento florestal. As técnicas matemáticas têm sido aplicadas para otimização técnica e econômica do manejo de florestas. Essas diferentes tecnologias podem ser integradas e combinadas para o planejamento mais eficiente (EMMERT, 2014; FIGUEIREDO et al., 2016; SILVA et al., 2018a).

Na exploração florestal, as ferramentas disponíveis em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) e combinadas com outras técnicas matemáticas, tais como, programação linear (PL), teoria de gráficos e heurística têm sido usadas para o planejamento da rede de estrada. Murray (1998) utilizou SIG e uma técnica de acesso a múltiplos alvos (MTAP) para a otimização das rotas a serem tomadas pelos veículos de transporte envolvendo custos de construção de estradas e extração florestal.

Chung e Sessions (2001) utilizaram soluções heurísticas (algoritmos genéticos e *Simulated Annealing*) para a alocação de estradas considerando a topografia do terreno, os padrões das estradas e os custos de colheita e transporte. As técnicas envolvendo o *design* de redes em SIG e programação matemática foram utilizadas para o planejamento de estradas florestais para produção de madeira, resultando em expressiva redução de impactos (GUMUS et al., 2008). Hosseini et al. (2012) e Hayati et al. (2013) utilizaram dessas ferramentas para avaliar aspectos ambientais de uma área de manejo e aplicá-las no planejamento da infraestrutura para reduções de impacto e custo.

No Brasil, dentre os métodos científicos de apoio ao planejamento florestal citam-se as técnicas de Pesquisa Operacional (PO) e os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) (MACHADO, 2014). Alguns estudos enfocando áreas de florestas nativas vêm sendo realizados, podendo citar: Martinhago (2012) comparou a ferramenta metaheurística com a programação linear inteira (PLI) em alocação de pátios no estado do Pará, obtendo resultados similares tanto na utilização e aplicação destas ferramentas; Emmert (2014) avaliou o uso

da modelagem espacial e técnicas matemáticas integradas para o planejamento da exploração no estado do Amazonas, tendo como resultado que o cenário proposto reduziu a área impactada pelas infraestruturas, ou seja, um melhor aproveitamento; Silva et al. (2018a) analisaram a ferramenta de PLI para minimizar os deslocamentos de arraste das toras aos pátios no estado do Acre, estes, obtiveram resultados eficientes que demonstraram facilitar o processo de tomada de decisão pelo elaborador; Silva et al. (2020) avaliaram a redução no número de pátios de estocagem em plano de manejo no Acre utilizando modelo de elevação digital do terreno e PLI, concluindo que a adoção da metodologia é viável para o planejamento; e Aguiar et al. (2020) estudaram a eficácia da metaheurística em planejamento de pátios de madeira e obtiveram soluções viáveis em poucos minutos mesmo para grandes áreas.

A maioria destas técnicas objetiva uma solução ótima do problema. Estes por sua vez, incluem, com frequência, fatores intangíveis para o planejador, que podem gerar diferentes custos ou até mesmo impactos ambientais (CONTRERAS; CHUNG, 2007; SILVA et al., 2018a, 2018b; SØVDEET et al., 2013). Na prática, é demasiadamente complexo gerar diferentes alternativas e avaliá-las quantitativamente com objetivo de fazer a seleção do cenário ideal. Quando se trata de florestas nativas, a heterogeneidade é um aspecto que poderá restringir ainda mais este processo de planejamento (BRAZ, 2005), uma vez que diversas características ambientais devem ser consideradas simultaneamente, assim como também a oscilação de volume de madeira a ser explorada e sua respectiva renda (SESSIONS, 2007a; 2007b; CARVALHO et al, 2015).

Para poder representar estes fatores é requerida uma grande habilidade e mais recentemente, a Programação Linear Inteira (PLI), resolvida por algoritmos determinísticos ou por meta-heurísticas, vem ganhando força na solução de problemas de planejamento florestal. Ainda na literatura existem poucos trabalhos abordando a programação linear inteira na alocação de pátios de estocagem em florestas nativas. Sendo necessário estudos que consistem na criação de modelos matemáticos que apresentem uma alocação otimizada dessas infraestruturas considerando os custos reais de construção de estradas, pátios e arraste de toras.



### 3.7 Programação Linear Inteira (PLI)

A Programação Linear (PL) basicamente surgiu na década de 1950, durante uma época em que não existiam computadores disponíveis. A programação linear é um modelo matemático composto por números e símbolos que fazem o papel de variáveis de decisão (PIZZOLATO; GANDOLPHO, 2012). O termo PL não se refere diretamente à questão de programação computacional, como se pode sugerir, porém, um conjunto de inequações (restrições e função objetivo) que definem um plano, sendo este medido por uma função linear (MATOUSEK; GARTNER, 2007; SILVA et al., 2010).

Adicionalmente, as variáveis de decisão devem ser todas contínuas, ou seja, devem assumir quaisquer valores em um intervalo de números reais (FÁVERO; BELFIORE, 2012). Como modelo matemático, tem como meta a busca por um ótimo, que pode ser um máximo ou um mínimo de uma função. Na área florestal a PL tem como objetivo encontrar as melhores combinações de alternativas de manejo de uma floresta, auxiliando na tomada de decisão (BOYLAND et al., 2005).

O planejamento florestal demanda de uma série de informações, como projeção da produção florestal, preços e custos. Geralmente, o resultado deste conjunto de informações confere aos modelos uma estrutura complexa com elevado número de restrições e variáveis. Alguns critérios econômicos podem ser introduzidos na função objetivo e auxiliar na análise de projetos florestais. Rodriguez (2003) afirmou que, durante a década de 80, os processos de gestão florestal passaram por grandes reformulações, uma delas foi adotar técnicas de PL em conjunto com modelos de otimização.

Independentemente do tipo de modelo abordado, a PL apresenta uma eficiência computacional comprovada, e uma versatilidade em formular as restrições ligadas ao manejo das operações florestais (ÖHMAN; ERIKSSON, 2002; AUGUSTYNCZIK et al., 2015). Estes modelos podem governar a maioria das questões quantitativas, retratando-as por meio de expressões lineares. Entretanto, alguns artifícios devem ser introduzidos no modelo quando o problema engloba variáveis não contínuas. Neste caso, o uso da programação linear com variáveis inteiras e/ou mistas se faz necessário.

No passado, a maioria dos modelos constituía-se exclusivamente de variáveis contínuas, em suas formulações, cujo principal objetivo estava associado a valores percentuais de volume, área ou região a ser manejada. Uma nova tendência de restrições exigiu o uso de variáveis inteiras, no qual conseguia retratar os objetivos vinculados ao planejamento florestal. Esta alteração em assumir as variáveis de decisão foi necessária para atender questões espaciais da floresta (MURRAY; SNYDER, 2000). O novo conceito de planejamento florestal espacial impulsionou e difundiu a aplicação de modelos baseados em programação linear inteira.

Na solução de problemas utilizando os modelos de programação linear inteira (PLI) são usadas, basicamente, duas abordagens para a geração das alternativas de manejo, batizadas por Johnson e Scheurman (1977) como modelo I e modelo II. No modelo I, para cada unidade de manejo é gerado um conjunto de alternativas de manejo, e, uma vez dada alternativa de manejo que tenha sido escolhida para dada unidade, esta permanecerá sobre tal intervenção durante o horizonte de planejamento considerado, o que permite maior identidade da unidade de manejo. Ao contrário, no modelo II as regras de alocação (agrupamento e partição) de unidades de manejo quase sempre resultam na geração de menor número de alternativas de manejo para o mesmo problema, resultando, todavia, em perdas de identidades das unidades de manejo, em função das regras de alocação. A diferença entre ambos os modelos são as principais variáveis de decisão (ARCE, 2016).

Em situações que o planejamento florestal demanda compor as unidades de manejo de forma confiável, incorporando restrições espaciais e operacionais, usam-se algoritmos dos modelos de otimização da programação linear inteira mista (PLIM). Esta programação incide em organizar um arranjo das unidades de manejo abrangendo variáveis como a distância, horizonte de planejamento e produção, conseqüentemente esta alternativa visa maximizar os lucros e aumentar a eficiência das operações. Existem dois métodos bem conhecidos de resolver os problemas de PLIM, que seriam o Algoritmo *branch-and-bound* e o método de corte, e ambos exploram o Algoritmo Simplex. A PLIM é melhor empregada para problemas de planejamento tático e estratégico (RÖNNQVIST, 2003; D'AMOURS et al., 2011).

A formulação dos modelos de PLI e de PLIM é semelhante quando

comparada com a formulação dos modelos de PL, o que as diferencia, no entanto, é a incorporação de restrições que exigem que determinadas variáveis assumam valores inteiros (0,1,2,3,...) ou valores binários (0 ou 1) (HILLIER; LIEBERMANN, 2013; LEITE et al., 2013).

Dessa forma, situações que envolvem variáveis inteiras são comuns no manejo florestal. Para redução dos custos das atividades de manejo florestal e otimização das etapas operacionais várias técnicas e procedimentos podem ser utilizados, em especial metodologias de pesquisa operacional, tal como a programação linear inteira e/ou mista, justificando, portanto, o estudo de métodos de solução de problemas de programação matemática com restrições de integridade.

#### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, M. O.; SILVA, G.F.; MAURI, G. R.; SILVA, E. F.; MEDONÇA, A. R.; SILVA, J. P. M.; SILVA, R. F.; SANTOS, J. S.; LAVAGNOLI, G. L, FIGUEIREDO, E. O. Metaheuristics applied for storage yards allocation in na Amazonian sustainable forest management area. **Journal of Environmental Management** v. 271. April, 2020.

AMARAL, P.; VERÍSSIMO, A.; BARRETO, P.; VIDAL, E. **Floresta para Sempre: um manual para a produção de madeira na Amazônia**. Belém-PA: IMAZON. 1998. 137p.

AMARAL, M. R. M. **Dinâmica do crescimento de espécies comerciais remanescentes, em áreas exploradas experimentalmente, em diferentes intensidades de corte na Amazônia Central**. Dissertação de Mestrado - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA. Manaus, p. 97. 2013.

AMARAL, M. R. M.; LIMA, A. J. N.; HIGUCHI, F.; DOS SANTOS, J.; HIGUCHI, N. Dynamics of Tropical Forest twenty-five years after experimental logging in central Amazon mature forest. **Forests**, v. 10, p. 1-17, 2019.

ANDERSSON, D. **Approaches to integrated strategic/tactical forest planning**. Tese de Doutorado - Swedish University of Agricultural Sciences. Umea, p. 29. 2005.

ARCE, J.E. **Programação linear para fins florestais**. Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR. novembro, 2016 (Apostila).

ASNER, G. P; KELLER, M. PEREIRA, R.; ZWEEDE, J. Remote sensing of selective logging in Amazonia: Acessing limitations based on details field observations, Landsat ETM+, and textural analysis. **Remote Sensing of Environment**, v. 80, p. 483-496, 2002.

ASSUMPÇÃO, J. F. P. **Gerenciamento de empreendimentos da construção civil: modelo para planejamento estratégico da produção de edifícios**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. São Paulo, p. 207. 1996.

AUGUSTYNCZIK, A. L. D.; ARCE, J. E.; DA SILVA, A. C. L. Planejamento espacial da colheita considerando áreas máximas operacionais. **Cerne**, v. 21, n. 4, p. 649–656, 2015.

BALIEIRO, M. R.; ESPADA, A. L. V.; NOGUEIRA, O.; PALMIERI, R.; LENTINI, M. **As concessões de florestas públicas na Amazônia Brasileira: um manual para pequenos e médios produtores florestais**. IMAFLORA e IFT. Piracicaba: IMAFLORA, 2010. 205 p.

BARRETO, P.; AMARAL, P.; VIDAL, E.; UHL, C. Costs and benefits of forest management for timber production in eastern Amazonia. **Forest ecology and Management**, v.108, p. 9-26,1998.

BASKENT, E. Z.; KELES, S. Spatial forest planning: A review. **Ecological Modelling**. v.188, n. 2-4, p. 145-173. 2005.

BOLTZ, F.; HOLMES, T. P.; CARTER, D. R. Economic and environmental impacts of conventional and reduce impact logging in Tropical South America: a comparative review. **Forest Policy and Economics**, v.5, p. 69-81, 2003.

BOYLAND, M.; NELSON, J.; BUNNELL, F.L. A test for robustness in harvest scheduling models. **Forest Ecology and Management**, Netherlands, v. 207, n.1, p.121-132, 2005.

BRANDT, J. S.; NOLTE, C.; AGRAWAL, A. Deforestation and timber production in Congo after implementation of sustainable forest management policy. **Land Use Policy**, v. 52, p.15–22, 2016.

BRASIL. Instrução normativa nº 05 de 11 de dezembro de 2006. Dispõe sobre procedimentos técnicos para elaboração, apresentação, execução e avaliação técnica de Planos de Manejo Florestal Sustentável-PMFS's. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2006a. 19p.

BRASIL. Lei nº 11.284, de 2 de março de 2006. Dispõe sobre a gestão de florestas públicas para a produção sustentável; institui, na estrutura do Ministério do Meio Ambiente, o Serviço Florestal Brasileiro - SFB; cria o Fundo Nacional de Desenvolvimento Florestal - FNDF; altera as Leis nºs 10.683, de 28 de maio de 2003, 5.868, de 12 de dezembro de 1972, 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, 4.771, de 15 de setembro de 1965, 6.938, de 31 de agosto de 1981, e 6.015, de 31 de dezembro de 1973; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. 2006b.

BRASIL. Resolução nº406 de 02 de fevereiro de 2009. Estabelece parâmetros técnicos a serem adotados na elaboração, apresentação, avaliação técnica e execução de Plano de Manejo Florestal Sustentável – PMFS. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2009. 5p

BRASIL. Nº Lei 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Brasília: **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 2012.

BRASIL. Instrução normativa nº8 de 19 de dezembro de 2014. Institui o Calendário Florestal no Estado do Pará. **Diário Oficial do Estado**, Pará. 2014.

BRASIL. Instrução Normativa nº 05 de 10 de setembro de 2015. Dispõe sobre procedimentos técnicos para elaboração, apresentação, execução e avaliação técnica de Plano de Manejo Florestal Sustentável – PMFS nas florestas nativas exploradas ou não e suas formas de sucessão no Estado do Pará, e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado**, Pará. 2015.

BRAZ, E. M. **Otimização da rede de estradas secundárias em projetos de manejo sustentável de floresta tropical**. Circular Técnica n. 15, Embrapa-CPAF. Rio Branco, AC, p. 36. 1997.

BRAZ, E. M.; D' OLIVEIRA, M. V. N. Planejamento de arraste mecanizado em floresta tropical. (**Instruções Técnicas**), n. 5, p.1-6, 1997.

BRAZ, E.M. **Planejamento da exploração em florestas naturais**. Documentos, EMBRAPA Florestas. Colombo, p. 32. 2005.

BRAZ, E. M.; SCHNEIDER, P. R.; MATTOS, P. P.; SELLE, G. L.; THAINES, F.; RIBAS, L. A.; VUADEN, E. Taxa de corte sustentável para manejo das florestas tropicais. **Ciência Florestal**, v. 22, p. 137–145, 2012.

BRAZ, E. M.; BASSO, R. O.; ABREU, M. S. S.; MATTOS, P. P.; OLIVEIRA, M. F.; ZACHOW, R. Manejo Florestal no Mato Grosso. (**Comunicado Técnico**) Colombo, PR Técnico Dezembro, nº329, 11p, 2013.

BRAZ, E. M.; MATTOS, P. de; FIGUEIREDO, E. O. Manejo de Precisão em Florestas Naturais. *In*: BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. **Agricultura de Precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília. Embrapa Florestas, p. 488-491.2014.

CARIELLO, R. V. **Considerações sobre a exploração florestal de impacto reduzido**. Trabalho de conclusão de Curso (graduação) – Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio Janeiro, Seropédica. Rio de Janeiro, 2008.

CARVALHO, K.H. A.; SILVA, M.L.; LEITE, H.G.; BINOTI, D.H.B. Influência da taxa de juros e do preço da madeira em modelos de regulação florestal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.35, n.82, p.143-151, 2015.

CHUNG, W.; SESSIONS, J. Designing a forest road network using heuristic optimization techniques. In: Council on forest engineering (COFE) Conference proceedings: “Appalachian Hardwoods: Anaging Change”. Snowshoe. **Anais**. 2001, p. 15-18,

CHUNG, W; SESSIONS, J.; HEINIMANN, H. R. An application of heuristic Network algorithm to cable logging layout design. **International Journal of Engineering**. p.11-24. 2004.

CONTRERAS, M.; CHUNG, W. computer approach to finding an optimal log landing location and analyzing influencing factors for ground-based timber harvesting. **Canadian Journal of Forest Research**, v.37, no. 2, 276–292. 2007.

COSTA, H.. Manejo inteligente pode garantir sustentabilidade da Amazônia. UnB Ciência, 2015. Disponível em: <https://www.unbciencia.unb.br/biologicas/34-engenharia-florestal/371-manejo-inteligente-pode-garantir-sustentabilidade-daamazonia>. Acesso em: 10 jan. 2023.

D'AMOURS, S.; EPSTEIN, R.; RÖNNQVIST, M. Operations research in forestry and forest products industry. **Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science**, v. 46, n. 4, p. 265–281, 2011.

DE GRAAF, N. R. **Sustained timber production in the tropical rainforest of Suriname**. In: Wienk, J.F. & Wit, H.A. de (eds.), Proceedings of the joint workshop on 'Management of the low fertility acid soils of the American humid tropics'. San José, Costa Rica, p. 175-190. 1982.

DE GRAAF, N. R. **Tropical lowland rain forest management for sustained timber production in Suriname moulded in the CELOS management system**. In: Cardozo, R. & Solano, J.F. (eds.), Memórias Reunión Nacional de Silvicultura, Bogotá (Columbia). CONIF, Serie de Documentación 9, p. 67-80. 1987.

EMMERT, F. **Combinação de dados de campo e métodos computacionais para o planejamento da exploração florestal na Amazônia**. Tese de Doutorado - Universidade de Brasília - UNB, DF, p.190. 2014.

EZZATI, S.; NAJAFI, A.; YAGHINI, M.; HASHEMI, A. A.; BETTINGER, P. An optimization model to solve skidding problem in steep slope terrain. **Journal of Forest Economics**, v.21, no. 4, p. 250-268. 2015

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Guidelines for management of tropical forests.1. The production of wood**. 1998. Disponível em:<<http://www.fao.org/3/W8212E/w8212e00.htm>>. Acesso em: 19 de setembro de 2020.

FARIA, T. T. **Microplanejamento da colheita de uma floresta plantada utilizando tecnologias de geoprocessamento**. 2012. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ, Seropédica, 2012.

FÁVERO, L. P; BELFIORE, P. Pesquisa Operacional para cursos de administração, contabilidade e economia. – Rio de Janeiro: **Elsevier**, 2012.

FFT . **Manual de procedimentos técnicos para condução de manejo florestal e exploração de impacto reduzido**. Fundação Floresta Tropical. (versão 4.0). p. 89. 2002

FELDPAUSCH, T. R; JIRKA, S.; PASSOS, C. A. M.; JASPER, F. RIHA, S.J. When big trees fall: damage and carbon export by reduced impact logging in Southern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 219, p. 199-215, 2005.

FERNANDES, A. P. D.; GUIMARÃES, P. P.; BRAZ, E M.; HOEFLICH, V. A.; ARCE, J. E. Alternativas de planejamento para exploração florestal. **Floresta**. v.43, no.3, p. 339-350. 2013.

FIGUEIREDO, E. O.; D'OLIVEIRA, M. V. N.; BRAZ, E. M.; DE ALMEIDA PAPA, D.; FEARNSTIDE, P. M. LIDAR-based estimation of bole biomass for precision management of an Amazonian forest: Comparisons of ground-based and remotely sensed estimates. **Remote Sensing of Environment**. v.187, p.281–293. 2016.

FRA. **Global Forest Resources Assessment**. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2015.

GARRIDO, F. I. Manejo florestal: Questões econômico-financeiras e ambientais. **Estudos Avançados**. São Paulo, v. 16, no.45, p.91-106. 2002.

GULLISON, R. E.; HARDNER, J. J. The effects of road design and harvest intensity on forest damage caused by selective logging empirical results and a simulation model from the Bosque Chimanes, Bolivia. **Forest Ecology and Management**, v. 59 no. 1-2, p. 1-14, 1993.

GUMUS, S.; ACAR, H. H.; TOKSOY, D. Functional forest road network planning by consideration of environmental impact assessment for wood harvesting. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.142, no. 1-3, p.109-116. 2008.

HANEWINKEL, M.; FRUTIG, F.; LEMM, R. Economic performance of uneven-aged forests analysed with annuities. **Forestry**, v. 87, p. 49-60. 2014.

HAYATI, E.; MAJNOUNIAN, B. ABDI, E.; SESSIONS, J. MAKDOUM, M. An expert-based approach to forest road network planning by combining Delphi and spatial multi-criteria evaluation. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 185, no. 2 p.1767-1776. 2013.

HIGUCHI, N. Utilização e manejo dos recursos madeireiros das florestas tropicais úmidas. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 24, n. 3-4, p. 275-288,1994.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à Pesquisa Operacional**. Porto Alegre. AMGH, 9ª edição. 2013.

HOLMES, T. P.; BLATE, G. M.; ZWEEDE, J. C.; PEREIRA, R.; BARRETO, P.; BOLTZ, F.; BAUCH, R. Financial and ecological indicators of reduce impact logging performance in the eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.163, no. 1-3, p.93-110, 2002.

HOLMES, T. P.; BLATE, G. M.; ZWEEDE, J. C.; PEREIRA JUNIOR, R.; BARRETO, P.; BOLTZ, F. Custos e benefícios financeiros da exploração de impacto reduzido em comparação à exploração florestal convencional na Amazônia Oriental. **Fundação Floresta Tropical**. Belém. 2ª edição. 68p. 2004

HOSSEINI, S. A.; MAZRAE, M. R.; LOTFALIAN, M.; PARSAKHOO, A. Designing an optimal forest road network by consideration of environmental impacts in GIS. **Journal of Environmental Engineering and Landscape Management**, v. 20, no.1, p. 58 - 66. 2012.



HUMMEL, A. C.; ALVES, M. V. DA S.; PEREIRA, D.; VERÍSSIMO, A.; SANTOS, D. **A atividade madeireira na Amazônia brasileira: produção, receita e mercados**. Belém, PA: Serviço Florestal Brasileiro (SFB); Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (Imazon), p. 32, 2010.

INSTITUTO FLORESTA TROPICAL - IFT. Relatório de avaliação de efetividade do projeto disseminação e aprimoramento das técnicas de manejo florestal sustentável. 74 p. 2018. Disponível em: <https://www.fundoamazonia.gov.br/export/sites/default/pt/.galleries/documentos/monitoramento-avaliacao/5.avaliacoes-externas/individuais/IFT-Relatorio-Efetividade.pdf>. Acesso em: 17 janeiro de 2023.

INSTITUTO FLORESTA TROPICAL - IFT. Manejo florestal e exploração de impacto reduzido em florestas naturais de produção da Amazônia. **Informativo Técnico do IFT 1**. Belém: IFT, 2012. Disponível em: <http://ift.org.br/wp-content/uploads/2014/11/Informativo-T%C3%A9cnico-1.pdf>. Acesso em: 20 de setembro de 2020.

JOHNSON, J. N.; SCHEURMANN, H. L. Techniques for prescribing optimal timber harvest and investment under different objectives – discussion and syntheses. **Forest Science**, USA, v.18, n.1, p 1-31, 1977.

JONKERS, W. B. J.; SCHIMIDT, P. Ecology and Timber Production in Tropical Rain Forest in Suriname. **INTERCIENCIA**, Caracas, v. 9 n. 5, p. 290-297, 1984.

JONKERS, W.B.J.; HENDRISON, J. The CELOS Management System: concept, treatments and costs. In: WERGER, M. J. A. Sustainable Management of Tropical Rainforests: The CELOS Management System Paramaribo, Suriname: **Tropenbos International**, p. 282. 2011.

KANGAS, A; KANGAS, J.; KURTIKA, M. Decision Support for Forest Management. [S.1.]: **Springer Science**, 224 p. 2008.

LEITE, H. G.; BINOTI, D. H. B.; BINOTI, M. L. M. da S.; MONTE, M. A.; ARAÚJO JÚNIOR, C. A. **Regulação da produção florestal**. In: VALE, A. B. do.; MACHADO, C. C.; PIRES, J. M. M.; VILAR, M. B.; COSTA, C. B.; NACIF, A. de P. Eucaliptocultura no Brasil: silvicultura, manejo e ambiência. Viçosa: SIF, p. 315-326. 2013.

LIMA, C. A. T. Manejo Florestal Comunitário na Amazônia Brasileira: uma abordagem sobre manejo adaptativo e governança local dos recursos florestais em Reserva Extrativista. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Pará, PA. 204p. 2018.

LIU, K. ; SESSIONS, J. Preliminary planning of road systems using digital terrain models. **Journal of Forest Engineering**, v.4, p. 27-32, 1993.

LOPES, E. S.; MACHADO, C. C.; SOUZA, A. P. Classificação e custos de estradas em florestas plantadas na região sudeste do Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 26, n.3, p. 329-338. 2002.

- MACHADO, C. C.; MALINOVSKI, J. R. **Rede viária florestal**. Curitiba: FUPEF, 1986. 156p
- MACHADO, C.C. 2002. **Colheita Florestal**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais. 468p.
- MACHADO, C. C.; LOPES, E. S. **Planejamento**. In: MACHADO, C. C. (Ed.). Colheita Florestal. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, p. 185-230. 2008.
- MACHADO, C. C. **Construção e Conservação de estradas rurais e florestais**. Viçosa, MG. 2013. 441p.
- MACHADO, C. C. **Colheita florestal**. 3ª ed. Viçosa: Editora UFV, 2014.
- MALINOVSKI, R. A. **Otimização da distância de extração de madeira com forwarder**. 2007. 94 f. Tese de Doutorado – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.
- MARTINHAGO, A. Z. **Otimização para a locação de pátios de estocagem para exploração de impacto reduzido na Amazônia brasileira**. 2012. 163 p. Tese de Doutorado - Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2012.
- MATOUSEK, J.; GARTNER, B. **Understanding and using linear programming**. Springer. p. 229. 2007.
- MITCHELL, S. A. **Operational forest harvest scheduling optimization: a mathematical model and solution strategy**. Thesis of Doctor - University of Auckland, Auckland, p. 252, 2004.
- MINETTI, L. J.; FILHO, R. F. O.; PINTO, L. A. A.; SOUZA, A. P.; FIEDLER, N. C. Análise Técnica e econômica do corte florestal planejado de floresta tropical úmida de Terra-Firme na Amazônia Ocidental. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.24, n.4, p.423-428, 2000.
- MMA. Ministério do Meio Ambiente. Consultoria Jurídica. **Legislação Ambiental Básica / Ministério do Meio Ambiente**. Consultoria Jurídica. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, UNESCO, 350 p.: il. ; 25,5 cm. 2008.
- MUNIZ, T. F.; PINHEIRO, A. S. O. Concessão florestal como instrumento para a redução de exploração ilegal madeireira em Unidades de Conservação em Rondônia. Rolim de Moura. **Revista Farol**. v.8, n.8, p.121-142, 2019.
- MURRAY, A. T. Route planning for harvest site access. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 28, n.7, p.1084-1087. 1998.
- MURRAY, T.; SNYDER, S. Spatial modeling in natural resource planning, **Forest Science**, USA, v. 46, n.2, p.153-154, 2000.

NASCIMENTO, F. A. F.; DIAS, A. N.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARCE, J. E.; MIRANDA, G. M. Uso da meta-heurística otimização por exame de partículas no planejamento florestal. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 96, p. 557-565, 2012.

OHMAN, K; ERIKSSON, L. O. Allowing for spatial consideration in long-term forest planning by linking linear programming with simulated annealing. **Forest Ecology and Management**, Netherlands, v.161, n.1, p.221-230, 2002.

PINHO, G. S. C.; FIEDLER, N. C; GUIMARÃES. P.; SILVA, G. F.; SANTOS, J. Análise de custos e rendimentos de diferentes métodos de corte de cipós para produção de madeira na floresta nacional do Tapajós. **Acta Amazonica**, Manaus , v. 39, n. 3, p. 555-560, Sept. 2009.

PREDIGER, C. R. **Rendimento no desdobro de toras de *Andira parviflora* Ducke. em serraria na Amazônia Central.** Dissertação de Mestrado– Universidade Federal do Amazonas - UFAM, 54p. 2019.

PIZZOLATO, N. D; GANDOLPHO, A. A. **Técnicas de otimização** – reimpr. – Rio de Janeiro: LTC, 2012.

REBOUÇAS, D. P. O. Planejamento estratégico – conceitos, metodologia e prática. 18 ed. São Paulo: **Atlas**, 62p. 2002.

RIBAS, H. E. R.; SANTOS, A. T. dos; MATTOS, P. P. de; BRAZ, E. M.; CANETTI, A.; BASSO, R. O. Padrão de crescimento de amescla em Santa Carmem, MT. Colombo: Embrapa Florestas, 2017. 7 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 406).

ROCHA, E. S.; BARROS, P. L. C.; MACIEL, M. N.; ERLER, J. Avaliação da densidade ótima de estradas florestais em dois sistemas de exploração florestal no estado do Pará. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, n.47, p.49-58, 2007.

RODRIGUEZ L. C. E. **Ordenamento sustentável dos plantios de eucaliptos manejados para a produção de celulose no Brasil.** Disponível em: <<http://jatoba.esalq.usp.br/~lcer/simposio/trabluiizcarlos.doc>> Acesso em: 15 setembro 2003.

RODRIGUES, M. I. **O manejo florestal na Amazônia e a viabilidade financeira dos ciclos de corte.** Tese de Doutorado - Universidade de Brasília em Ciências Florestais, Brasília, DF, 125 p. 2020.

RÖNNQVIST, M. Optimization in forestry. **Mathematical programming**, v. 97, n. 1, p. 267–284, 2003.

ROTTA, G. W.; MICOL, L.; SANTOS, N. B. **Manejo sustentável no portal da amazônia: um benefício econômico, social e ambiental.** IFT e IMAZON. Alta Floresta-MT : ICV, 2006.

SABOGAL, C.; SILVA, J.N.M.; ZWEEDE, J.; PEREIRA JÚNIOR, R.; BARRETO, P.; GUERREIRO, C. A. **Diretrizes técnicas para a exploração de impacto**

**reduzido em operações florestais de terra firme na Amazônia brasileira.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 64. 52p. 2000.

SALES, A.; SIVIEIRO, M. A.; PEREIRA, P. C. G.; VIEIRA, S. B. BERBERIAN, G. A. MIRANDA, B. M. Estimation of the commercial height of trees with laser meter: a viable alternative for forest management in the Brazilian Amazon. **Ecology and Evolution**. v.10 p. 1-6, 2019.

SANT'ANNA, C. M. **Corte florestal**. In: Machado, C.C. (Ed). Colheita florestal, Viçosa, Minas Gerais. p. 55-88. 2002.

SCHWARTZ, G.; PEREIRA, P. C. G.; SIVIERO, M. A.; PEREIRA, J. F.; RUSCHEL, A. R.; YARED, J. A. G. Enrichment planting in logging gaps with *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby: A financially profitable alternative for degraded tropical forests in the Amazon. **Forest Ecology and Management**. v. 390, p.166–172, 2017.

SCOLFORO, J. R. S. 1998. **Manejo Florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 438p.

SESSIONS, J.; BETTINGER, P. Hierarchical planning: pathway to the future? In: **International Precision Forestry Cooperative Symposium**, 1., 2001, Washington. Proceedings. Washington, p. 185-190. 2001.

SESSIONS, J. **Forest road operation in the Tropics**. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007a.

SESSIONS, J. **Harvesting operations in the tropics**. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007b.

SFB. Serviço Florestal Brasileiro. **Boletim do Sistema Nacional de Informações Florestais (SNIF)**. Brasília: SNIF, 2017.

SILVA, E. M. da; SILVA, E. M. da; GONÇALVES, V; MUROLO, A. C. Pesquisa Operacional para os cursos de administração e engenharia: programação linear: simulação. – 4. ed. – 2. reimpr. São Paulo: **Atlas**, 2010.

SILVA, P. H. **Desenvolvimento de modelo para alocação ótima de pátios de estocagem de madeira**. Dissertação de mestrado - Universidade Federal de Lavras - UFV, 128p. 2014.

SILVA, E. F. **Alocação de pátios de estocagem em planos de manejo na Amazônia por meio de programação matemática**. Dissertação de mestrado - Universidade Federal do Espírito Santo - UFSC. 2015. 86p.

SILVA, E. F.; SILVA, G. F.; FIGUEIREDO, E. O.; BINOTI, D. H. B.; MENDONÇA, A. R.; TORRES, C. M. M. E.; PEZZOPANE, J. E. M. Allocation of storage yards in management plans in the Amazon by means of mathematical programming. **Forests**. v. 9, n.3, p 127. 2018a.

SILVA, P. H.; GOMIDE, L. R.; FIGUEREDO, E. O.; CARVALHO, L. M. T. de; FERRAZ-FILHO, A. C. Optimal selective logging regime and log landing location models: a case study in the Amazon forest. **Acta Amazonica** 48, 18–27. 2018 b.

SILVA, E. F.; SILVA, G. F.; FIGUEIREDO, E. O. MENDONÇA, A. R.; SANTANA, C. J. O.; FIEDLER, N. C.; SILVA, J. P. M.; AGUIAR, M. O.; SANTOS, J. S. Optimized forest planning: allocation of log storage yards in the Amazonian sustainable forest management area. **Forest Ecology and Management**. v. 472. 2020.

SIVIERO, M. A.; RUSCHEL, A. R.; YARED, J. A. G.; PEREIRA, J. F.; AGUIAR, J. R.; JUNIOR, S. B.; PEREIRA, P. C. G.; VIEIRA, S. B.; CONTINI, K. P. S.; SALES, A. Manejo de florestas naturais degradadas na Amazônia: estudo de caso sobre critérios de colheita. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 43-59, Mar. 2020.

SOUZA, M. A. S.; AZEVEDO, C. P.; SOUZA, C. R.; FRANÇA, M.; NETO, E. L. V. Dinâmica e produção de uma floresta sob regime de manejo sustentável na Amazônia Central. **Revista Floresta**, Curitiba, v.47, n.1, p.55-63, 2017.

SOUZA, M. A.; PIRES, C. B. Colheita florestal: mensuração e análise dos custos incorridos na atividade mecanizada de extração. **Custo e @gronegocio**, v.5, n.2. p. 104-132. 2009.

SØVDE, N. E.; LØKKETANGEN, A.; TALBOT, B. Applicability of the GRASP metaheuristic method in designing machine trail layout. **Forest Science Technology**. v.9, 187–194. 2013.

VERÍSSIMO, A.; PEREIRA, D. Produção na Amazônia Florestal: características, desafios e oportunidades. **Parcerias Estratégias**. v.19, n.38, p. 13-44, 2014.

VIEIRA, D. S.; GAMA, J. R. V.; RIBEIRO, R. B. S.; XIMENES, L. C.; CORRÊA, V. V.; ALVES, A. F. Comparação estrutural entre floresta manejada e não manejada na comunidade Santo Antônio, Estado do Pará. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.24, n.4, p.1067-1074, 2014.

WERNEBURG, M. A. P. **Planejamento em grandes empresas florestais no Brasil**. Dissertação de mestrado – Programa de pós Graduação em Ciência Florestal. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. 93p. 2015

WOLFF, S. **Legislação ambiental brasileira: grau de adequação à Convenção sobre Diversidade Biológica**. Brasília: MMA, 88p. 2000.

## **CAPÍTULO 1 – Planejamento das infraestruturas de exploração em floresta nativa manejada em regime sustentável na Amazônia**

**Resumo:** A gestão florestal exige tomadas de decisões que atendam às demandas do desenvolvimento sustentável. Entre as dificuldades causadas pela falta de planejamento ressalta-se a abertura de estradas, pátios de estocagem de madeira, e trilhas de arraste. O objetivo deste estudo foi comparar o planejamento de infraestruturas aprovados em licenciamento em relação ao planejamento executado para um Plano de Manejo Florestal. O estudo foi realizado em uma fazenda florestal, localizada no município de Portel, estado do Pará. A Unidade de Produção Anual analisada possui 3.556,27 hectares. Inicialmente foi analisado o plano de manejo florestal aprovado pelo órgão ambiental que apresentou intensidade de corte  $19,7 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ , densidade de estradas de  $19,9 \text{ m}.\text{ha}^{-1}$ , distribuição de 241 pátios de estocagem e distância média de arraste de 250 m. Em seguida foi avaliado as modificações ocorridas na execução da exploração florestal no qual verificou-se a redução da intensidade de corte para  $15,5 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$  e aumento na densidade de estradas ( $26,3 \text{ m}.\text{ha}^{-1}$ ), pátios (311) e na distância máxima de arraste (420 m). As modificações foram realizadas em virtude árvores ocas, distribuição irregular dos indivíduos selecionados para corte, contornos em razão declives/aclives, melhorar a logística de trajeto de maquinários e também para desviar de árvores do estoque remanescente. O manejo florestal não apresentou uniformidade na distribuição de suas infraestruturas reduzindo assim o aproveitamento da área aberta, sugerindo que a alocação destas precisa ser melhor otimizada. Todavia os critérios de planejamento e execução utilizados estavam em conformidade com o manejo sustentável praticável e dentro das normas de legislação.

**Palavras-chave:** Floresta tropical, macroplanejamento, exploração madeireira.

### **Planning of exploration infrastructures in native forest managed in a sustainable regime in the Amazon**

**Abstract:** Forest management requires decision-making that meets the demands of sustainable development. Among the difficulties caused by the lack of planning, the opening of roads, wood storage yards, and skid trails stand out. The objective of this study was to compare the planning of infrastructures approved in licensing in relation to the planning executed for a Forest Management Plan. The study was carried out in a forestry company, located in the municipality of Portel, state of Pará. The Annual Production Unit analyzed has 3,556.27 hectares. Initially, the forest management plan approved by the environmental agency was analyzed, which presented a cutting intensity of  $19.7 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ , road density of  $19.9 \text{ m}.\text{ha}^{-1}$ , distribution of 241 storage yards and average dragging distance from 250 m. Then, the modifications that occurred in the execution of the forest exploration were evaluated, in which it was verified the reduction of the cutting intensity to  $15.5 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$  and increase in the density of roads ( $26.3 \text{ m}.\text{ha}^{-1}$ ), patios (311) and maximum skidding distance (420 m). The modifications were made due to hollowed trees, irregular distribution of individuals selected for cutting, contours due to small slopes/slopes, to improve the logistics of machinery path and also to divert trees that should remain standing (remaining stock). Forest management did not show uniformity in the distribution of its infrastructures, thus reducing the use of open areas, suggesting that their allocation needs to be better optimized. However, the planning and execution criteria used were in accordance with practicable sustainable management and within the legislation norms.

**Keywords:** Tropical forest, macroplanning, logging.

## 1. INTRODUÇÃO

A Amazônia brasileira abrange uma vasta biodiversidade de madeiras tropicais e ocupa lugar estratégico no comércio internacional de espécies nativas. A capacidade de produção dessas florestas varia conforme características ambientais e principalmente do planejamento florestal (SOUZA et al., 2017). Aliando esses dois parâmetros ao cumprimento das exigências legais pode-se subsidiar a sustentabilidade da exploração florestal.

O manejo florestal baseado na exploração com rendimento sustentável e na capacidade produtiva da floresta, tem sido amplamente indicado como alternativa de promoção de uso e conservação dos recursos naturais (BRAZ e MATTOS, 2015; SOUZA et al., 2015). O planejamento das atividades envolvendo o manejo de madeira na região amazônica são regidas por normas como a Instrução nº 5/2006 (BRASIL, 2006a), do Ministério do Meio Ambiente, Norma de execução n.º 1/2006 do IBAMA (BRASIL, 2006b), pela Resolução nº 406/2009 (BRASIL, 2009), do Conselho Nacional do Meio Ambiente, Lei nº12.651/2012 (BRASIL, 2012) e por Instruções estaduais dependendo da região como a Instrução nº 05/2015 (SEMAS - Estado do Pará). Em geral, esses instrumentos legais buscam padronizar critérios para garantir a gestão sustentável dessas florestas.

As técnicas de exploração e as informações de manejo são descritas e apresentadas no plano de manejo florestal sustentável (PMSF), que é encaminhado ao órgão responsável. O plano de manejo florestal de que trata a legislação deverá ser executado com o objetivo de prover o ciclo ecológico das espécies e dos ecossistemas, assegurando um meio ambiente equilibrado. É necessário seguir o plano operacional anual (POA) para executar as técnicas de exploração. O POA orienta todas as atividades realizadas na unidade de manejo florestal (UMF) (Brasil, 2006; BRASIL, 2009; BRASIL, 2012).

Para que o manejo florestal seja praticado, é necessária a abertura da infraestrutura florestal permanente, constituída de pátios de estocagem, estradas primárias e secundárias, pontes entre outros. As estradas florestais são as mais importantes vias de acesso às florestas, servindo para viabilizar o tráfego de mão-de-obra e os meios de produção necessários para o investimento florestal (CORRÊA, 2005; CARMO et al., 2013; MACHADO 2013). As estradas florestais são diferenciadas, devido a intensidade de tráfego extrapesado, concentrada

durante as atividades operacionais e transporte de baixíssimo tráfego durante o arraste.

Os ramais de arraste são formados por uma trilha que dá acesso das árvores abatidas aos pátios de estocagem. Os ramais de arraste são planejados para que o maquinário se desloque sempre que possível, em ângulo oblíquo à trilha principal (formato tipo uma “espinha de peixe”) e deve-se evitar planejar ramais em locais que tenha árvores com diâmetro superior a 30 cm (FUNDAÇÃO FLORESTA TROPICAL, 2002).

Os pátios de estocagem são aberturas na floresta, geralmente com tamanhos de 20 m x 25 m (500 m<sup>2</sup>), localizados ao longo de estradas secundárias, em que os troncos derrubados são organizados e preparados para o transporte. O número de pátios depende do volume de madeira que será explorada na unidade de trabalho manejada e esses devem ser construídos em locais com baixa densidade de árvores de grande porte, de preferência em clareiras, ou em áreas cipoálicas (FUNDAÇÃO FLORESTA TROPICAL, 2002). Nesse ambiente, retira-se toda a vegetação e as camadas superficiais do solo, para facilitar o armazenamento de toras e movimento dos maquinários. As estradas e os pátios são distribuídos em distâncias regulares. Por conseguinte, as trilhas de arraste são planejadas a partir dessas últimas infraestruturas e podem, também, serem sistematicamente distribuídas (DYSTRA, 1996; AMARAL et al., 1998; BRAZ, 1997; 2005).

Tendo como base as diretrizes da legislação e as técnicas praticadas, o planejamento da infraestrutura de exploração tem sido baseado em um modelo sistemático. A utilização do método empírico é realizada de acordo com a experiência dos engenheiros utilizando ferramentas como mapas topográficos e banco de dados espacial, com informações do terreno para auxiliar na tomada de decisão (LIU; SESSIONS 1993; NEWNHAM, 1995; BASKENT; KELES, 2005).

As áreas florestais, em sua grande maioria, apresentam quantidades excessivas de obras de infraestruturas de estradas e pátios de estocagem, mostrando a falta de conhecimento de critérios no planejamento, o que não favorecem a sua utilização e/ou aproveitamento eficiente (CARMO et al., 2013; EMMERT, 2014). A má localização, juntamente com uma manutenção inadequada das infraestruturas, pode gerar grandes impactos ambientais



(GONÇALVES, 2002). A sustentabilidade do manejo florestal demanda que as vias de acesso destas infraestruturas gerem o menor impacto possível aos ecossistemas (PINAGÉ; MATRICARDI, 2015).

Nesse contexto, o planejamento adequado das atividades de exploração florestal promove o aumento da eficiência, redução do desperdício de madeira e otimiza o tempo gasto com a atividade (BRAZ, et al., 1998; SABOGAL, et al., 2000; BRAZ e D'OLIVEIRA, 2001; BRAZ, et al., 2005). Deve considerar variáveis que tem influência direta no layout final das trilhas de arraste, tais como a densidade de árvores comerciais e remanescentes nas unidades de trabalho, as condições topográficas do terreno, a capacidade de suporte do solo, a hidrografia, o volume por árvore e a orientação da queda (BRAZ; OLIVEIRA, 1997). Para isso faz-se necessário compreender as etapas e sequencias envolvidas visando auxiliar no processo das tomadas de decisões.

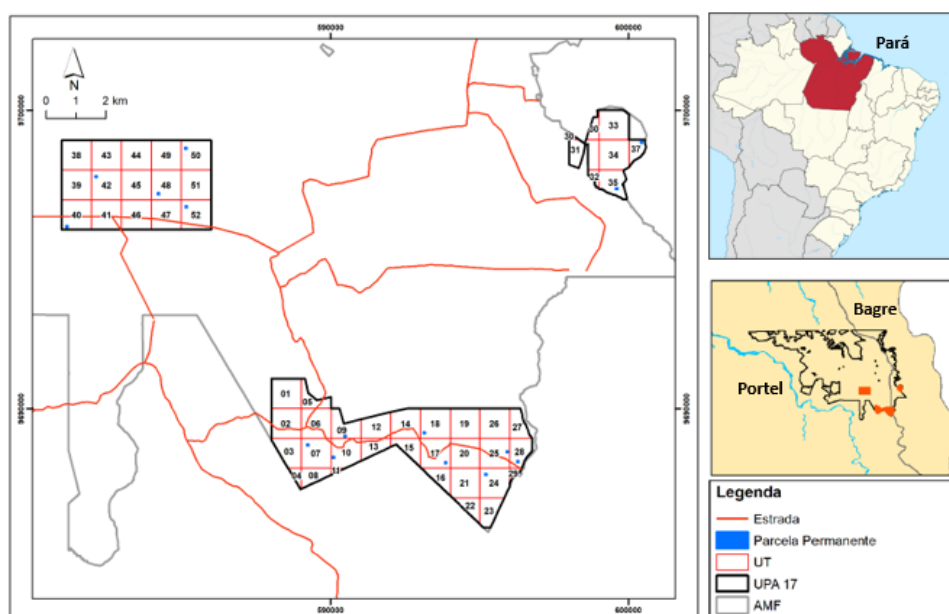
Os fatores ambientais e operacionais contribuem para as diferenças entre a produção planejada e executada (FIGUEIREDO, 2007). Assim, a realização de estudos que visem compreender a tomada de decisão e as possíveis variáveis que interferem no rendimento do manejo florestal tornou-se uma preocupação crescente das empresas florestais, visando ao desenvolvimento de técnicas que melhorem o desempenho operacional e a eficiência das máquinas, maximizando a produtividade e reduzindo os custos de produção (SILVA et al., 2003; CONTRERAS; CHUNG, 2007; OLIVEIRA et al., 2013; SØVDE et al., 2013; SILVA et al., 2018a, 2018b).

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi comparar o planejamento de infraestruturas (densidade de estradas e pátios de estocagem) aprovados em licenciamento em relação ao planejamento executado para um Plano de Manejo Florestal localizado na microrregião de Portel, PA.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Localização e características da área de estudo

O estudo foi realizado em uma empresa florestal, localizada no município de Portel, estado do Pará, entre as coordenadas geográficas 2° 43' 12,50" S e 50° 28' 57,40" W. A Unidade de Produção Anual (UPA 17) possui 4.027,68 hectares de relevo plano, sendo 3.556,27 hectares destinados ao manejo florestal (AMF), 376,07 hectares de área de preservação permanente (APP) e 95,33 hectares de área antropizada (Figura 2).



**Figura 2.** Localização geográfica da área de estudo, UPA 17 - PA.  
Fonte: SEMAS, 2020.

O clima da região é do tipo Af, segundo a classificação de Köppen determinado como clima tropical úmido, possui período mais chuvoso entre os meses de fevereiro a abril e mais seco de agosto a outubro (SECELT, 2012; ALVARES et al., 2013). A vegetação predominante é composta de Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas com dossel emergente. Este ambiente fitoecológico é caracterizado por apresentar uma vegetação sempre-verde, com árvores de folhas perenes e raramente caducifólias, dossel fechado, elevada biomassa e algumas árvores emergentes, com altura variando de 30 a 50 m (IBGE, 2012; SEMMA, 2017). Os solos predominantes da região são classificados como Latossolo amarelo distrófico, Areias quartzosas distróficas, Plintossolo álico textura média e Gley pouco húmico distrófico (SECELT, 2012).

O manejo florestal na UPA 17 objetivou atender demandas próprias de comercialização. Para a execução da exploração a UPA foi dividida em 51 Unidades de Trabalho (UT) contendo uma superfície de aproximadamente 100 ha. O diâmetro mínimo de corte (DMC) considerado foi de 50 cm, conforme legislação vigente.

## 2.2 Volume

Conforme previsto no Plano de Manejo Florestal Sustentável – PMFS, para a estimativa dos volumes individuais das árvores inventariadas, a partir da segunda UPA, uma equação local foi ajustada com base na cubagem rigorosa realizada com os dados obtidos da primeira UPA. A equação de volume ajustada foi a seguinte:

$$v \text{ (m}^3\text{)} = 0,00008912 \text{ (d}^2\text{h)}^{0,948} \quad \text{(Fórmula 1)}$$

Em que:

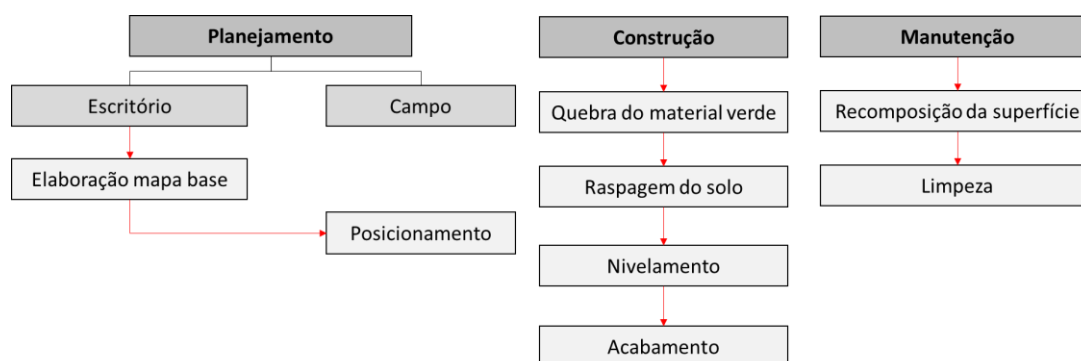
v = volume comercial em metros cúbicos (m<sup>3</sup>);

d = diâmetro a altura do peito em metros (m);

h = altura comercial em metros (m).

## 2.3. Planejamento de estradas

O planejamento das estradas florestais teve a primeira definição por meio de um macroplanejamento sobre o mapa base com utilização da ferramenta computacional QGis. Nele foram plotadas de forma teórica as estradas, tendo a preocupação de observar detalhes, como topografia, relevo, vegetação, cursos d'água, concentração de árvores, potencial volumétrico entre outros aspectos. A operação teve sua continuidade no campo com auxílio do software Avenza Maps, onde foram realizados ajustes sobre o planejamento inicial, com intuito de orientar o operador do trator de esteiras na efetiva construção das estradas, a qual, se bem planejada, permite que sua construção seja realizada de forma mais rápida e eficiente, obtendo maior produtividade e evitando danos às árvores remanescentes nas margens das estradas (Figura 3).



**Figura 3.** Etapas de construção e conservação de estradas florestais.

As estradas principais possuem leito de rodagem de até 6 metros de largura, abertura de faixa lateral de 1 m a 2 m e revestimento com cascalho visando o tráfego praticamente o ano todo. As estradas secundárias são vias de acesso e transporte de menor utilização, sendo utilizadas para interligar os pátios de estocagem e as estradas principais possuindo leito de rodagem de até 4 metros de largura, abertura de faixa lateral de 1 metro e revestimento sem cascalho, visto que o tráfego mais intenso se dá no período de exploração e transporte de madeira. Objetivando uma melhor divisão da área, as estradas secundárias ficaram equidistantes 500 m umas das outras permitindo uma distância máxima de arraste de 250 m em função da localização dos pátios de estocagem (Figura 4).

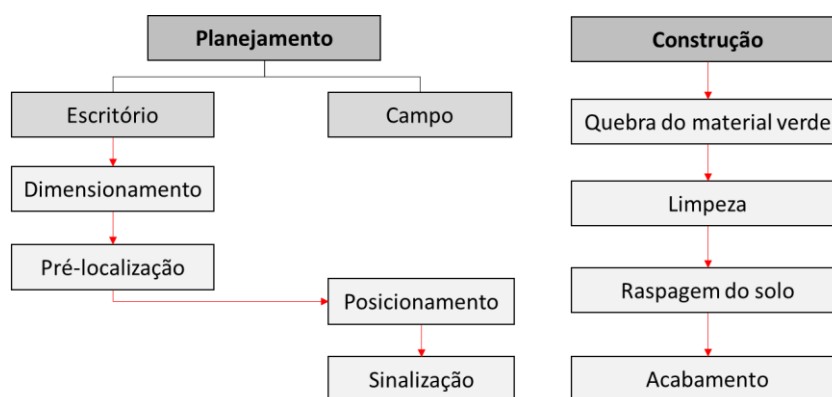


**Figura 4.** Estradas utilizadas durante o Manejo Florestal, UPA 17 - PA.  
A: Estrada principal com revestimento de cascalho; B: Estrada secundária.

Para o planejamento, abertura e manutenção de estradas foram dispostas duas equipes sendo um coordenador, dois operadores de máquinas, um operador de motosserra e dois auxiliares.

## 2.4. Abertura de pátios

O dimensionamento dos pátios foi realizado a partir das informações do inventário levando em consideração o volume a ser explorado, o local (que deve ser plano, ter baixa densidade de árvores de grande porte, clareira natural ou com alta concentração de cipós), de acordo com o raio de arraste e o tipo de transporte. A primeira etapa consistiu no dimensionamento e na localização no mapa de planejamento (com as coordenadas geográficas). A segunda etapa foi realizada em campo, com a definição, localização e sinalização dos pátios para construção. Para a abertura dos pátios foram dispostas duas equipes sendo compostas por um coordenador, um operador de trator de esteira e um operador de motosserra (Figura 5).



**Figura 5.** Etapas da abertura de pátios de estocagem de madeira

Os pátios na área de estudo tiveram dimensões de 25 x 25 m. Estes, tem capacidade de armazenamento entre 250 a 300 m<sup>3</sup> de madeiras em toras (Figura 6). A distribuição dos pátios foi realizada em distâncias regulares um do outro (faixa de 250 a 300 m), e/ou baseada no volume a ser explorado (concentração de árvores a derrubar).



**Figura 6.** Pátios de estocagem no Manejo Floresta - UPA 17

A utilização dos pátios se deu no intuito de exploração quente, ou seja, quando a madeira foi arrastada para o pátio, esta, logo em seguida foi carregada e direcionada a seu destino final.

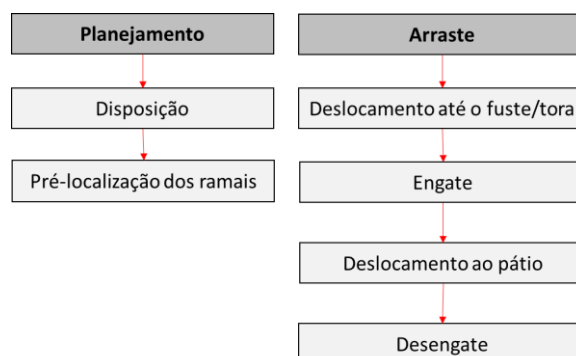
## 2.5. Arraste

O arraste consiste na operação na qual a madeira, em forma de toras, é arrastada do interior da floresta até os pátios de estocagem (Figura 7). O planejamento das trilhas de arraste se dá após a derrubada das árvores utilizando os mapas de direcionamento de queda. Após o traçado foi realizada em campo a sinalização das trilhas por onde se deslocou o maquinário.



**Figura 7.** Arraste de tora no Manejo Florestal - UPA 17.

A distância de arraste média é de 250 a 300 m para cada estrada secundária dentro de uma unidade de trabalho (UT). Esta atividade foi realizada por três equipes com um coordenador, um operador de máquina e um auxiliar/operador de motosserra (Figura 8).



**Figura 8.** Etapas da operação de extração



## 2.6. Maquinários utilizados na construção e manutenção de infraestruturas

Os equipamentos utilizados em cada etapa da construção e manutenção das infraestruturas se encontram na Tabela 2.

**Tabela 2.** Descrição dos maquinários utilizados na construção e manutenção de infraestruturas na exploração florestal na área de estudo.

Maquinário	Característica	Atividade
	<p>Trator de esteira Caterpillar            Modelo: D6N            Potência de motor: 131 kW.            Peso: 16.782 kg            Comprimento: 4,96 m            Largura: 2,97 m            Altura: 3,06 m            Tanque de combustível: 299 L            Reservatório hidráulico: 29,5 L</p>	<p>Construção e manutenção de estradas</p> <p>Abertura de pátios de estocagem</p>
	<p>Motoniveladora Caterpillar            Modelo: 120K            Motor: C7 Acert            Potência Básica: 93kW / 125hp            Peso: 13.032 kg            Largura da Lâmina: 3,658 m</p>	<p>Construção e manutenção de estradas</p>
	<p>Motosserra Stihl MS 651            Peso: 7,3 kg            Potência: 5,0/68 kW/cv            Tanque de Combustível: 850 L            Tanque de Óleo: 0,40 L            Sabre: Rollomatic E</p>	<p>Corte de fustes e galhadas quando necessário</p>
	<p>Motosserra Stihl MS 661            Peso: 7,4 kg            Potência: 5,4/7,3 kW/cv            Tanque de Combustível: 850 L            Tanque de Óleo: 0,40 L            Sabre: Rollomatic ES</p>	<p>Corte de fustes e galhadas quando necessário</p>
	<p>Skidder Caterpillar 525C            Garra: giratória hidráulica            Potência bruta: 146 kW            Peso: 17.710,5 kg            Tanque de combustível: 315 L            Capacidade da garra: 1,2 m<sup>2</sup>            Largura da lâmina: 3,13 m</p>	<p>Arraste de toras</p>

## **2.7. Coleta de dados**

Os dados primários disponibilizados pelos manejadores da área foram à base de dados espaciais em formato digital da UPA. Essa coleção de dados espaciais (formato *shapefile*) foi composta pelos limites territoriais, pela localização geográfica das árvores exploradas e infraestrutura florestal de estradas. Para o tratamento dos dados espaciais de estradas georreferenciadas, estes, foram vetorizados utilizando a ferramenta ArcMap do software ArcGis.

As informações técnicas foram provenientes do Plano de Manejo Florestal Sustentável e plano operacional anual com prazo de vigência de 2020 a 2022 e do documento referente ao pós-exploratório da área (monitoramento). Tendo como base as atuais diretrizes da legislação e as técnicas praticadas, o planejamento da infraestrutura de exploração foi realizado em subdivisões padronizadas com dimensões quadrangulares. As estradas e os pátios foram distribuídos em distâncias regulares. Por conseguinte, as trilhas de arraste foram planejadas a partir dessas últimas infraestruturas de modo a possuírem a menor distância do pátio de estocagem. Além disso, no planejamento foi considerada a posição de cada árvore como destino para os pátios de estocagem alocados nas estradas secundárias. Dessa forma, as estradas secundárias foram alocadas de maneira a se aproximarem das árvores exploradas, conseqüentemente, resultando em uma diminuição da distância de extração.

Além das informações técnicas foi realizada coleta de dados em campo no período de realização da exploração (setembro de 2021).

## **2.8. Densidade de estradas (DE) e Distância máxima de arraste (Dmax)**

A densidade de estradas foi calculada pela divisão do comprimento da estrada em metros pela área do povoamento em hectares, conforme metodologia proposta por Machado (2013). A Distância máxima de arraste (Dmax) corresponde à metade da distância ótima entre estradas (FIGUEIREDO et al., 2007).

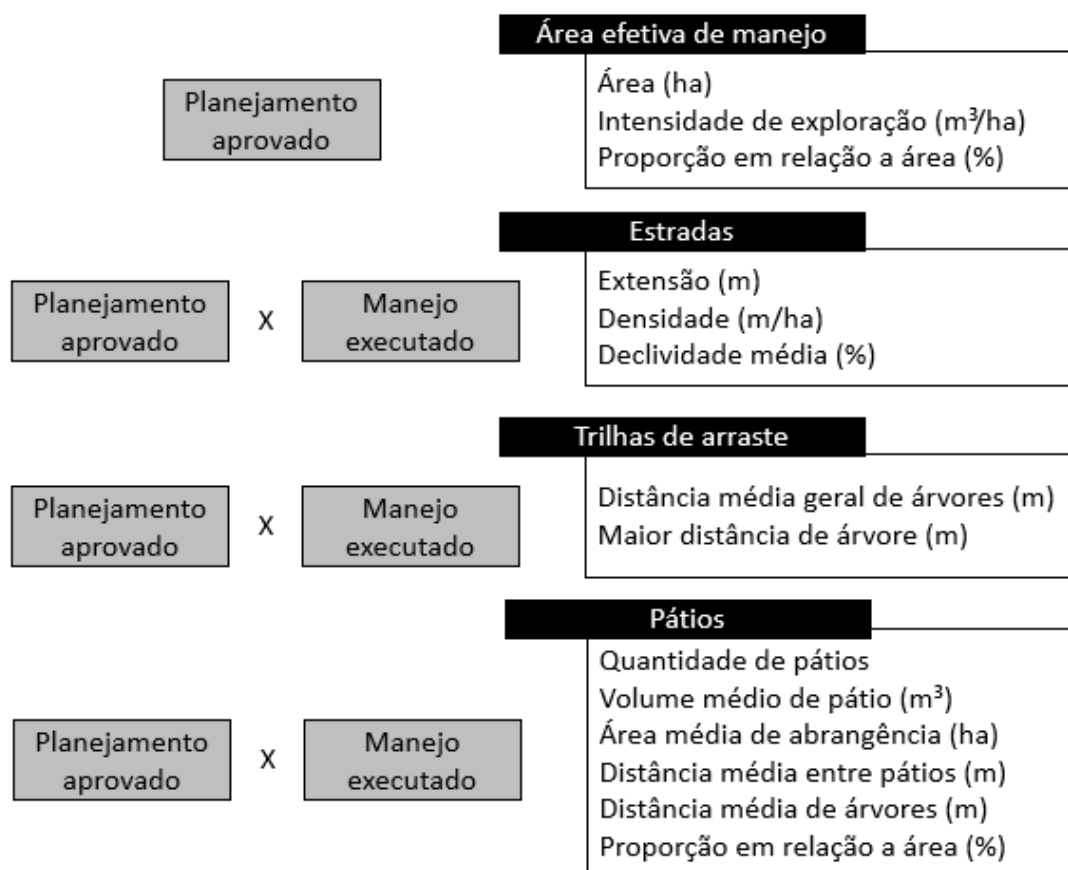
## **2.9. Variáveis analisadas**

O Plano de Manejo Florestal Sustentável e Plano Operacional Anual são submetidos ao órgão ambiental responsável visando a licença de autorização. Porém, no decorrer das atividades de manejo, situações adversas podem



demandar e/ou influenciar o engenheiro responsável da atividade a alterar o posicionamento ou a quantidade de infraestruturas tais como as estradas e pátios de estocagem. Assim, nem sempre o planejamento praticado é de fato realizado em sua totalidade, sendo que no documento de relatório pós exploratório protocolado ao órgão ambiental foi possível identificar essas modificações. Essas modificações não devem exceder os valores autorizados na Autorização de Exploração Florestal – AUTEF e devem estar em conformidade com a legislação florestal nacional e estadual.

Com base nesses documentos foi realizada uma análise por meio da estatística descritiva de parâmetros espaciais conforme ilustrado na Figura 9, com objetivo de comparar o desempenho da elaboração das infraestruturas e das possíveis características que levaram às modificações em sua execução pelos manejadores.



**Figura 9.** Delineamento da análise do planejamento florestal. Em que: Formas retangulares em preto representam as etapas do planejamento, em cinza os tratamentos comparados e em branco os parâmetros comparados.

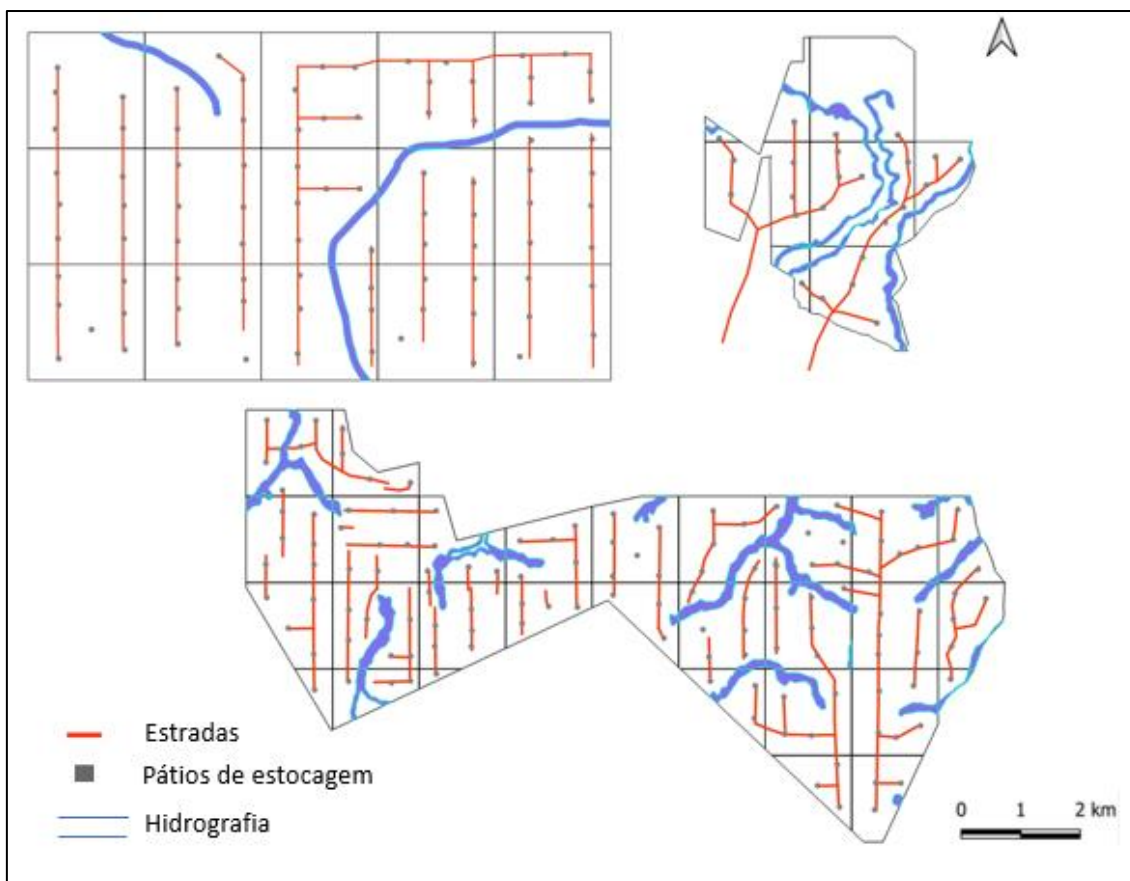
Para a análise estatística utilizou-se o Teste T pareado a fim de identificar diferenças nos valores de implantação das infraestruturas no planejamento aprovado e após a exploração. Com base nos dados cada UT foi considerado uma repetição. A verificação de normalidade dos dados foi realizada através do teste Shapiro-Wilk. Os dados foram analisados utilizando a linguagem de programação estatística R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2019).

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1. Planejamento aprovado**

A partir do inventário florestal 100% (censo) realizado na UPA, foram selecionadas 44 espécies comerciais. A seleção dessas espécies seguiu o critério exigido pela legislação, com densidade maior que 0,03 árvores.ha<sup>-1</sup> da área de efetiva exploração da UT e manutenção de pelo menos 10% do número de árvores por espécie inventariada e para as espécies que se enquadravam na categoria de vulnerabilidade a densidade foi maior que quatro indivíduos a cada 100 hectares e manutenção de pelo menos 15% do número de árvores por espécie. A intensidade de corte adotada pela empresa no plano de manejo florestal aprovado foi de aproximadamente 19,7 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, equivalente a 5,56 árvores.ha<sup>-1</sup>, diante de uma volumetria de 70.048,14m<sup>3</sup> referente a 19.786 árvores.

A rede de estradas secundárias foi distribuída sistematicamente em intervalos regulares de 500 m. A densidade de estradas principais e secundárias foi de 19,9 m.ha<sup>-1</sup>, essa malha de estradas compreendeu 0,80% em relação a área de manejo autorizada. Os pátios de estocagem foram distribuídos ao longo das estradas secundárias, a cada 250 m. Foi definido a construção de 241 pátios com média de armazenamento de 240 m<sup>3</sup>, o que compreendeu a 0,42% em relação a área total. Com esse arranjo, a distância máxima de arraste se padronizou em 250m (Figura 10).



**Figura 10.** Infraestruturas de estradas e pátios de estocagem no panejamento aprovado (UPA 17).

### 3.2. Plano de manejo executado

Antes da derrubada da árvore foi realizado o teste do oco, e em alguns indivíduos esta condição foi constatada, impossibilitando assim seu corte. Como previsto em legislação estas árvores podem ser substituídas por outras da mesma espécie e que foram classificadas como estoque remanescente no censo florestal. Com essa possibilidade o engenheiro responsável definiu a viabilidade dessa troca e repassou às equipes de campo. Além disso, em razão da própria comercialização o quantitativo de árvores exploradas diminuiu. A madeira muitas das vezes é vendida em pé, logo, em casos de que não se tenha demanda dessa espécie não se tem a necessidade de corte desses indivíduos. Assim, a distribuição de corte (Tabela 3) e arraste de indivíduos se modificou, sendo necessário uma redistribuição da malha de infraestruturas (Figura 11).

Para as 44 espécies comerciais exploradas a intensidade de corte executada pela empresa foi de  $15,5 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ , equivalente a  $4,61 \text{ árvores}.\text{ha}^{-1}$ , diante de uma volumetria de  $55.088 \text{ m}^3$  referente a 16.425 árvores.

**Tabela 3.** Relação de volume explorado por espécies no Manejo Florestal.

Nome Científico	Autorizado		Explorado	
	Volume (m <sup>3</sup> )	Nº de árvores	Volume (m <sup>3</sup> )	Nº de árvores
<i>Pouteria guianensis</i> Aubl.	493,4	148	491,9	138
<i>Minuartia guianensis</i> Aubl.	34,6	7	8,5	3
<i>Carapa guianensis</i> Aubl.	1.194,7	476	1012,4	435
<i>Vatairea paraensis</i> Ducke	936,8	242	936,6	218
<i>Hymenolobium excelsum</i> Ducke	377	75	370,1	75
<i>Dinizia excelsa</i> Ducke	6.629,2	615	3408,6	444
<i>Tetragastris panamensis</i> (Engl.) O. Ktze.)	2.985,5	1.513	1905,3	1131
<i>Aspidosperma carapanauba</i> Pichon	1.032,8	225	168,9	121
<i>Sterculia alata</i> Roxb.	1.415,4	398	1346,3	370
<i>Copaifera dukei</i> Dwyer	691,3	254	690,3	207
<i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Willd.	1.187,9	312	1173,2	299
<i>Goupia glabra</i> Aubl.	3.718,0	838	2351,8	583
<i>Cordia goeldiana</i> Huber	89,3	28	81,4	25
<i>Chrysophyllum venezuelanense</i> (Pierre) T. D. Penn.	5.372,8	1.723	4369	1336
<i>Neoxythece robusta</i> (Mart. & Eichler ex Miq.) Aubrév. & Pellegr.	7.664,4	1.998	7444,7	1950
<i>Handroanthus Heptaphyllus</i>	65,4	14	59,7	11
<i>Macrobium latifolium</i> Vogel	291,8	102	149,5	66
<i>Mezilaurus itauba</i> (Meisn.)	173,6	62	91,9	40
<i>Hymenaea stigonocarpa</i> Mart.	2.001,6	739	1999,7	582
<i>Licaria cannella</i> (Meisn.)	1.550,1	454	1286,2	357
<i>Euplassa pinnata</i> I.M.Johnst.	6,5	2	1,3	2
<i>Ocotea neesiana</i> (Miq.)	683,8	237	530,3	175
<i>Sextonia rubra</i> (Mez) van der Werff	217,9	41	196,9	41
<i>Ocotea rubra</i> Mez	202,1	62	209,8	62
<i>Manilkara excelsa</i> (Ducke)	5.691,7	1.870	5614,4	1868
<i>Qualea lancifolia</i> Ducke	36,6	9	36,5	9
<i>Manilkara paraensis</i> (Huber)	4.271,2	1.549	4051,8	1491
<i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) S. A. Mori	2.536,6	912	1916,3	755
<i>Cariniana micrantha</i> Ducke	885,4	365	790,5	333
<i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth	11,1	6	8,3	5
<i>Astronium lecointei</i> Ducke	659	162	651	162
<i>Enterolobium schomburgkii</i> (Benth.) Benth.	888,5	222	888,3	206
<i>Caryocar villosum</i> (Aubl.)	256,1	36	204,8	26
<i>Caryocar microcarpum</i> Ducke	860,2	163	751	123
<i>Erismalanceolatum</i> Stafleu	202,6	62	188,7	51
<i>Lecythis pisonis</i> Cambess.	2.844,8	555	1436,5	301
<i>Bowdichia nitida</i> Spruce	1.862,5	575	1738,2	493
<i>Terminalia amazonia</i> (J.F.Gmel.) Exell	2.507,8	667	1574,3	485
<i>Bagassa guianensis</i> Aubl.	95,7	24	94,9	24
<i>Couratari tauari</i> O.Berg	1.407,7	313	1395,7	260

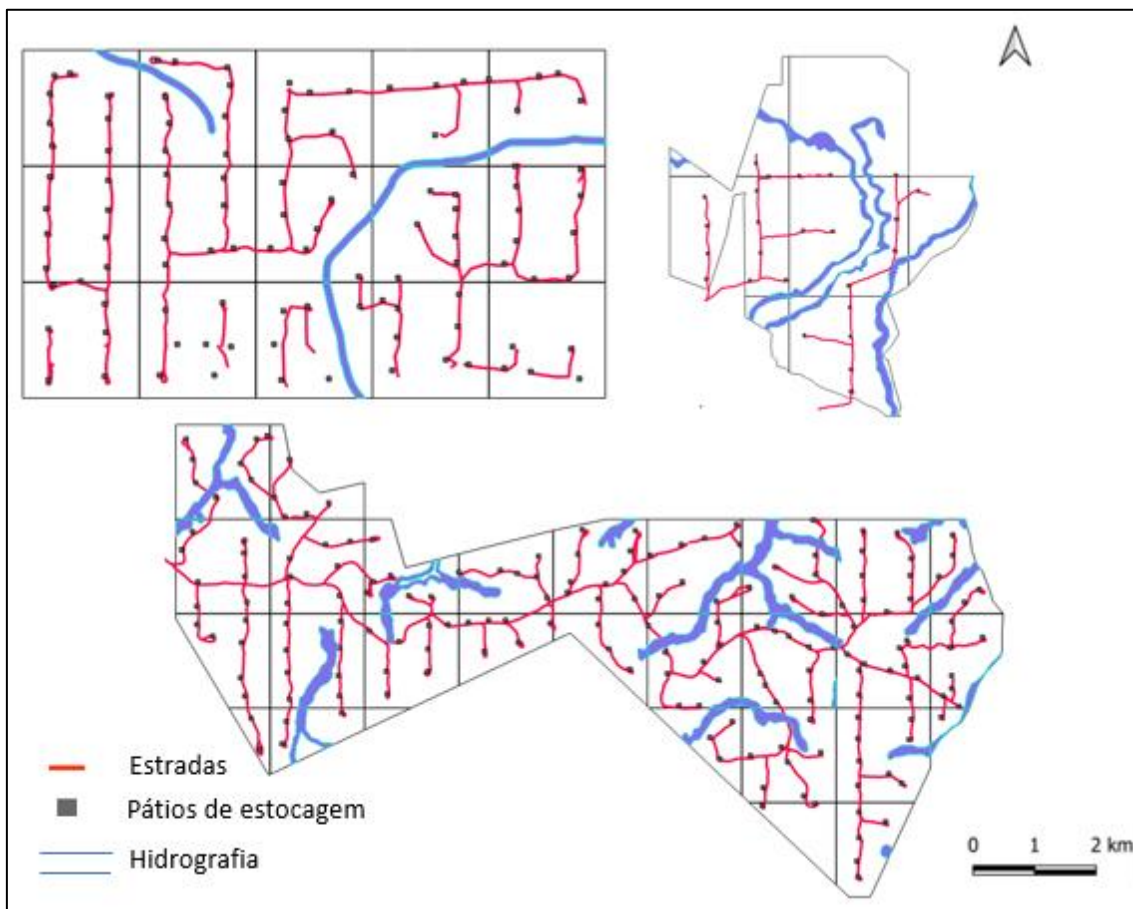
Continua...

**Tabela 3.** Relação de volume explorado por espécies no Manejo Florestal

Continua...

Nome Científico	Autorizado		Explorado	
	Volume (m <sup>3</sup> )	Nº de árvores	Volume (m <sup>3</sup> )	Nº de árvores
<i>Ormosia excelsa</i> (Spruce ex Benth). Rudd	166,5	61	159,3	59
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	5.220,0	1.452	2713,3	902
<i>Endopleura uchi</i> (Huber) Cuatrec.	33,6	7	27,3	7
<i>Vantanea cupularis</i> Huber	594,3	211	571,4	183
<b>Total Geral</b>	<b>70.048,1</b>	<b>19.786</b>	<b>55.088</b>	<b>16.425</b>

Mesmo com a diminuição do número de árvores explorados o quantitativo de infraestrutura de estradas e pátios de estocagem aumentou. A densidade de estradas foi para 26,3 m.ha<sup>-1</sup> e o número de pátios aumentou para 311 mostrando assim uma maior intervenção. Os pátios, em média, estocaram aproximadamente 210 m<sup>3</sup> sendo o mínimo de 131 m<sup>3</sup> e máximo de 475 m<sup>3</sup>.



**Figura 11.** Infraestruturas de estradas e pátios de estocagem executados na UPA 17.

### 3.3. Comparação entre planejamento e executado

Em virtude da distribuição de espécies a serem exploradas, que é irregular, cada UT apresentou densidade diferente de infraestrutura de estradas e pátios de estocagem e com o objetivo de melhorar a logística de trajeto de maquinários, novos trechos de malha foram acrescentados, interligando as estradas secundárias, assim como desvios e contornos em razão de pequenos declives/aclives e também para desviar de árvores que deverão continuar em pé (estoque remanescente) (Tabela 4).

**Tabela 4.** Quantitativo de infraestruturas por unidade de trabalho (UT) no Manejo Florestal.

UT	Área de Efetiva Exploração (ha)	Estradas		Pátios	
		Planejado m.ha <sup>-1</sup>	Executado m.ha <sup>-1</sup>	Planejado	Executado
1	80,93	0,18	0,22	5	9
2	93,23	0,18	0,30	6	8
3	72,05	0,15	0,16	4	6
4	15,71	0,02	0,07	1	2
5	47,03	0,16	0,15	4	4
6	95,63	0,25	0,36	7	8
7	86,04	0,28	0,22	6	7
8	36,05	0,07	0,07	3	5
9	57,99	0,09	0,17	5	5
10	87,06	0,19	0,28	6	7
11	5,69	0,01	0,00	1	0
12	68,19	0,14	0,19	5	6
13	49,91	0,11	0,20	4	6
14	89,48	0,15	0,36	6	10
15	51,08	0,08	0,12	3	4
16	39,88	0,07	0,09	3	4
17	87,79	0,15	0,34	6	8
18	92,01	0,18	0,25	5	8
19	78,34	0,10	0,22	8	6
20	86,40	0,18	0,32	6	11
21	89,00	0,23	0,29	4	8
22	39,91	0,08	0,02	3	1
23	57,44	0,09	0,13	3	5
24	91,99	0,20	0,19	5	8
25	93,09	0,22	0,37	5	11
26	94,51	0,08	0,28	5	10

Continua...

**Tabela 4.** Quantitativo de infraestruturas por unidade de trabalho (UT) no Manejo Florestal.

Continua...

UT	Área de Efetiva Exploração (ha)	Estradas		Pátios	
		Planejado m.ha <sup>-1</sup>	Executado m.ha <sup>-1</sup>	Planejado	Executado
27	44,56	0,17	0,13	3	3
28	61,51	0,01	0,18	4	9
29	8,37	0,02	0,01	1	1
30	16,85	0,19	0,02	2	2
31	78,65	0,01	0,25	5	9
32	6,41	0,00	0,00	1	0
33	19,46	0,02	0,02	2	1
34	62,69	0,23	0,19	7	7
35	49,35	0,15	0,13	4	5
37	24,54	0,08	0,02	3	1
38	93,35	0,11	0,19	5	8
39	98,45	0,20	0,22	6	8
40	95,16	0,16	0,24	7	8
41	94,44	0,13	0,17	6	7
42	97,56	0,20	0,27	6	7
43	92,13	0,14	0,25	5	9
44	95,92	0,20	0,22	6	8
45	95,15	0,17	0,20	6	8
46	90,11	0,17	0,17	6	6
47	96,04	0,16	0,21	6	9
48	95,27	0,15	0,20	6	6
49	83,06	0,21	0,16	6	4
50	87,89	0,19	0,14	8	3
51	89,73	0,20	0,29	6	10
52	93,20	0,17	0,10	5	5
Mínimo		0,00	0,00	1	0
Máximo		0,28	0,37	8	11
Média		0,14 <sup>a</sup>	0,18 <sup>b</sup>	5 <sup>A</sup>	6 <sup>B</sup>
Desvio Padrão		0,07	0,10	1,78	2,95
p-valor		0,01*		0,00**	
<b>Total</b>	<b>3.556,27</b>	<b>7,08</b>	<b>9,35</b>	<b>241</b>	<b>311</b>

A UT 36 não foi utilizada por decisão do engenheiro florestal

ns - não significativo, \*significativo a 5% de probabilidade, \*\*significativo a 1% de probabilidade

Valores seguidos pela mesma letra, no sentido horizontal, não apresentam diferença significativa (p-valor>0,01) pelo teste T pareado.

De acordo com a análise houve diferença estatística entre os valores planejados e executados no PMFS ocorrendo um aumento em seus parâmetros tanto para as infraestruturas de estradas como também pátios de estocagem ( $p \leq 0,05$ ). Mesmo levando em consideração a maioria dos fatores, o planejamento indica um valor médio e um layout base para a disposição da malha viária florestal, não podendo se esperar um resultado final preciso. O Manejo florestal executado gerou uma maior extensão de estradas do que o planejamento aprovado e conseqüentemente uma área impactada maior, em 32,4% (Tabela 5). Ao se tratar da quantidade de estradas em relação a área de manejo florestal nem sempre essa rede será menos densa, mas cabe ao engenheiro equilibrar as situações de modo a reduzir os custos e ao mesmo tempo facilitar a dinâmica da atividade. Em termos de localização espacial, as estradas executadas foram semelhantes as apresentadas no planejamento autorizado (Figuras 8 e 9).

**Tabela 5.** Resultados gerais das infraestruturas alocados no planejamento aprovado e executado no Manejo Florestal

Parâmetros	PMFS		Diferença (%)
	Aprovado	Executado	
Área de estudo (ha)	3.556,27		
Área basal média (m <sup>2</sup> )	0,38**	0,34	- 10,5
DAP médio das árvores (cm)	67,24**	64,47	- 4,1
Altura média das árvores (m)	14,56*	14,54	- 0,1
Volume médio por árvore (m <sup>3</sup> )	3,54**	3,85	8,8
Volumetria total (m <sup>3</sup> )	70.048,14**	55.088,00	- 21,4
Número de árvores explorados	19.786**	16.425	-16,9
Intensidade de exploração (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> )	19,7**	15,5	-21,3
Extensão de estradas (m)	70623**	93507,1	32,4
Densidade de estradas (m.ha <sup>-1</sup> )	19,9**	26,3	32,1
Proporção de impacto na área de estudo (%)	0,80**	1,06	32,5
Número de pátios	241**	311	29,0
Volume médio de armazenamento (m <sup>3</sup> )	134**	170	26,9
Proporção de impacto na área de estudo (%)	0,42**	0,54	28,6
Distância mínima de arraste (m)	1ns	1	0,0
Distância média de arraste (m)	250 <sup>ns</sup>	149,2	- 40,3
Distância máxima de arraste (m)	350 <sup>ns</sup>	420	14,3

ns - não significativo, \*significativo a 5% de probabilidade, \*\*significativo a 1% de probabilidade

A densidade de estradas pode variar de acordo com a intensidade da atividade florestal, condições do terreno e com o sistema de manejo adotado. No



entanto, a checagem em campo ainda se faz necessária. Esta, por sua vez define com maior precisão o traçado que será utilizado no decorrer da exploração. E na prática, quando a atividade é realizada numerosas variações ocorrem ocasionando um aumento no quantitativo dessas estradas.

Diferentes densidades de estradas foram verificadas na literatura em outras situações, como no estado do Acre em um estudo envolvendo cinco empresas madeireiras, utilizaram-se em média densidade de estradas de 20,24 m.ha<sup>-1</sup> (FIGUEIREDO, 2008), no estado do Amazonas, em uma região de relevo suave a ondulado, com algumas áreas com forte inclinação, utilizou-se 21,00 m.ha<sup>-1</sup> (BRAZ, 2010), e no Mato Grosso, Acosta et al. (2011) em uma região considerada acidentada (em torno de 15% de declividade), utilizaram densidade de 25 m.ha<sup>-1</sup> e verificaram que se deveria aumentar o espaçamento de estradas para um melhor aproveitamento. Estes valores se encontram em conformidade com os encontrados no presente estudo (tabela 6).

**Tabela 6.** Estudos realizados na Amazônia referentes a densidade de estradas

Local	Área (ha)	DE (m.ha <sup>-1</sup> )	SOE (m)	Referências
Pará	3.556,27	26,30	500	Presente estudo
Acre	11.800	20,24	-	Figueiredo, 2008
Amazonas	547	21,00	500	Braz, 2010
Mato Grosso	-	25,00	400	Acosta et al., 2011

Em que: DE = Densidade de estradas; SOE = Espaçamento entre estradas

Para o planejamento aprovado, o valor médio de pátios foi de cinco por UT, enquanto que na execução do manejo florestal o valor médio foi de seis pátios por UT (Tabela 4). Ao longo da exploração florestal foi constatada a necessidade de redistribuição e construção de novos pátios, ocorrendo um aumento de 29% em seu quantitativo (Tabela 5). Por mais que algumas UT's tenham diminuído sua implantação, outras aumentaram para que houvesse um melhor direcionamento e escoamento desse recurso. Mesmo com o aumento e irregularidade na distribuição dessa infraestrutura permaneceu a distância mínima de 250 m evitando assim que pátios fossem alocados muitos próximos um do outro.

Os pátios em média estocaram aproximadamente 210 m<sup>3</sup>, a variação de estocagem entre os pátios aconteceu em razão do posicionamento das árvores que foram selecionados para serem explorados mais agrupados ou mais

afastados em certas regiões, espécies com altas volumetrias, poucas árvores a serem exploradas em um determinado local por estarem mais próximas de redes hidrográficas. Por mais que o pátio já tenha excedido sua capacidade de estocagem, o fluxo de comercialização de madeira é intenso, ou seja, quando um determinado pátio atinge sua capacidade máxima, a madeira armazenada é rapidamente transportada, permitindo que o pátio receba madeira nova. Assim, a capacidade do pátio depende da frequência com que ele será recarregado.

Em estudos realizados com pátios de estocagem, a dimensão de pátios varia entre 20 x 20, 20 x 25 e 30 x 30 m (Tabela 7). No Mato Grosso, Braz et al. (2010; 2018), encontraram valores de pátios de estocagem com capacidade para 360 a 400 m<sup>3</sup>, no Amazonas o estudo de Braz et al., 2010 utilizaram pátios com 368 m<sup>3</sup> e Emmert (2014) utilizou pátios em média com 618,47 m<sup>3</sup>, e no estado do Acre, Figueiredo (2008) e Silva et al. (2018a) analisaram projetos de manejo com pátios variando de 300 a 350 m<sup>3</sup>. Tanto na dimensão quanto em capacidade volumétrica os valores encontrados nesses estudos corroboram com os analisados neste Manejo Florestal.

**Tabela 7.** Estudos realizados na Amazônia referentes a pátios de estocagem

<b>Local</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Tamanho (m)</b>	<b>Capacidade (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Extensão (%)</b>	<b>Referências</b>
Pará	3.556,27	25 x 25	250 a 300	0,54	Presente estudo
Mato Grosso	-	20 x 25	360 a 400	-	Braz et al., 2010
Mato Grosso	500	20 x 20	377	-	Braz et al., 2018
Amazonas	547	20 x 25	368	0,22	Braz, 2010
Amazonas	1222	30 x 30	618,47	0,21	Emmert, 2014
Acre	11.800	25 x 25	300	0,49	Figueiredo, 2008
Acre	638,17	20 x 25	350	-	Silva et al., 2018a

Percebe-se que diferentes capacidades de estocagem são encontradas variando pouco em suas dimensões. Isto ocorre devido à altura das pilhas serem diferentes e pelo ritmo de carregamento de caminhões no transporte florestal ser realizado em algumas situações de maneira simultânea. Quando a madeira é arrastada para o pátio e logo em seguida é carregada, sem a necessidade da estocagem de madeira no local por um longo período de tempo, denomina-se exploração quente. A exploração fria acontece quando precisa-se estocar madeira no pátio por um período de tempo maior, sendo ideal analisar a capacidade que o pátio comporta e garantir que o volume de madeira a ser

arrastado para este pátio não ultrapasse essa capacidade (MARTINHAGO, 2012).

A distribuição de pátios de estocagem é afetada diretamente pela ocorrência de árvores aptas a serem exploradas, gerando assim uma área de abrangência, que pode variar pela densidade de árvores, volumetria, bem como a capacidade de estocagem de madeira do pátio. No PMFS o quantitativo de árvores é diferente nos pátios de estocagem. Em termos técnicos, seria operacionalmente desejável que todas as unidades englobassem números semelhantes de árvores e de volumetria, o que garantiria uma maior homogeneidade no abastecimento de cada pátio, ou seja, um maior aproveitamento da área aberta.

A abertura de pátios de estocagem tem grande importância, em função do seu grau de impacto e dos altos custos envolvidos, sendo que a localização precisa destes influenciará na disposição das estradas e no alto rendimento da operação de arraste podendo superar  $50 \text{ m}^3.\text{hora-máquina}^{-1}$ , enquanto os melhores resultados em florestas tropicais ficam em torno de  $30 \text{ m}^3.\text{hora-máquina}^{-1}$  (FIGUEREIDO, 2008; BRAZ, et al., 2018).

Entre as árvores explorados o valor referente a menor distância árvore-pátio foi de um metro em razão do indivíduo estar posicionado as margens do pátio (Tabela 5). Alguns contornos na malha de arraste foram realizados em razão do direcionamento de queda dos indivíduos, logo algumas árvores que antes estavam posicionadas para serem arrastadas para uma determinada UT foram redirecionadas por proximidade para outra unidade. Barreto et al. (1998) afirmam que o sentido de queda favorece a extração e pode gerar um aumento de até 15% na eficiência operacional.

Ademais, em razão da redistribuição de árvores, menor custo, menor tempo e impacto ambiental optou-se nessa exploração por aumentar algumas distâncias de arraste. As UT's não possuem as mesmas quantidades de pátios de estocagem, influenciados diretamente pela volumetria que cada área tem a ser explorada (Tabela 3 e 4), assim sendo mais adequado no ponto de vista do engenheiro responsável aumentar o caminho percorrido pelo maquinário no arraste ao invés de criar um novo pátio, conseqüente um impacto maior em abertura na floresta.

Sabe-se que quanto mais pátios estiverem disponíveis para o armazenamento de toras o resultado será a redução dos custos de deslocamento árvore/pátio (ISAAC JÚNIOR, 2014). No entanto, este, por sua vez, influencia no aumento da abertura de mais estradas florestais e maiores extensões de impacto de cobertura de vegetação (SILVA, 2015). Cabe ao engenheiro florestal avaliar a sua realidade e assim proceder a mais adequada tomada de decisão.

A distância de arraste média em áreas de florestas tropicais é de 250 a 300 m para cada estrada secundária onde se localiza um pátio de estocagem dentro de uma UT (Tabela 8). A maior distância foi de 420 m, excedendo assim os valores pré-definidos no planejamento. No entanto, devido aos obstáculos encontrados no campo durante a extração das árvores e erros de localização, comuns na prática, a distância máxima pode ser ampliada em campo. Braz e Oliveira (2001) relataram que uma distância viável para o arraste da árvore pode ser estabelecida entre 150 m a 200 m, podendo ser no máximo de 400 m, isto é, para não comprometer a operação de arraste realizada pela máquina florestal (*Skidder*), aumentando os custos da operação.

Diferentes distâncias médias de árvore-pátios de estocagem foram verificadas em outras situações, como no estado do Mato Grosso, foi praticado 250 a 350 m (Braz et al., 2010), no estado do Amazonas, foi praticado 295,04 m (EMMERT, 2014), e no estado do Acre 152,17 m (FIGUEIREDO, 2008) e 342,20 m (SILVA et al., 2018a) (Tabela 8). De toda forma, cada área terá suas especificidades que deverão ser levadas em consideração para que se consiga um melhor planejamento com menores custos, tempo e impactos na vegetação.

**Tabela 8.** Estudos realizados na Amazônia referentes a distâncias de arraste

Local	Área (ha)	Distâncias de arraste (m)	Referências
Pará	3.556,27	250	Presente estudo
Mato Grosso	-	250 a 350	Braz et al., 2010
Amazonas	1.222	295,04	Emmert, 2014
Acre	11.800	152,17	Figueiredo, 2008
Acre	638,17	342,2	Silva et al., 2018a

Diversos critérios técnicos e econômicos são listados na literatura como pontos onde o planejador pode intervir para a definição da melhor estratégia para a extração florestal, como por exemplo, o volume da tora arrastada e a distância

de arraste, que são os fatores que mais influenciaram no tempo de ciclo do maquinário. São enfatizados, também que, o aumento da carga média e a redução do tempo de engate e das distâncias de arraste são medidas eficazes para a redução do tempo gasto nesta operação e a consequente diminuição dos custos (BRAZ et al., 1998). Dentre essas características a heterogeneidade dos diâmetros em florestas naturais também influencia em um maior tempo no posicionamento do fuste na garra na etapa de extração.

De modo geral, o planejamento das infraestruturas é um problema complexo porque, entre outras razões, as relações entre trilhas de arraste, pátios de armazenamento e estradas florestais ainda não estão bem definidas, são influenciados por variáveis econômicas, ambientais, operacionais e/ou legais, entre outras, que os tornam difíceis de administrar (PHILIPPART et al., 2012).

Os impactos ambientais decorrentes da exploração envolvem a perda de cobertura vegetal, compactação e remoção do solo, intensificação de processos erosivos, alteração do microclima, aumento do risco de incêndios, alterações no ciclo hidrológico e afetam diretamente a fauna local (SCHULZE; ZWEEDE, 2006). Os danos à vegetação decorrentes da atividade exploratória relacionam-se com a intensidade de exploração ( $m^3.ha^{-1}$ ), com o tamanho, a distribuição e a quantidade de pátios, estradas e trilhas de arraste, com as técnicas empregadas na derrubada das árvores, com o maquinário utilizado na construção de estradas e no arraste das toras, com as dimensões dos indivíduos derrubados e a densidade da floresta (GULLISON; HARDNER, 1993; ASNER et al., 2002; FELDSPAUSCH et al., 2005).

A extensão de infraestruturas estradas (1,06%) e pátios de estocagem (0,54%) desta área compreendeu 1,6% em relação a área de manejo autorizada (Tabela 5). A Instrução Normativa do Ministério do Meio Ambiente, nº 4 de 04/03/2002, dispõe sobre os procedimentos relativos às atividades de Manejo Florestal Sustentável de Uso Múltiplo na Amazônia Legal (BRASIL, 2002). Em seu anexo VII, item 2, subitem 2.6, que apresenta informações a respeito da infraestrutura, relata que o impacto gerado pela abertura de pátios de estocagem de madeira tem limite máximo de 0,75%.

De acordo com um levantamento do Instituto Floresta Tropical - IFT (2011), obras de infraestrutura podem impactar diretamente até 10% da área onde se pratica o manejo florestal. Dessa forma, apesar dos valores ao longo do

manejo florestal terem aumentado, estes ainda se encontram bem abaixo dos valores recomendados em estudo.

#### **4. CONCLUSÕES**

- O quantitativo de pátios de estocagem aumentou, no entanto não houve uniformidade na sua utilização visto que o quantitativo de árvores exploradas diminuiu, reduzindo assim em 12,5% o volume médio de armazenamento. Logo, não houve um aproveitamento máximo na capacidade volumétrica destes, evidenciando uma necessidade de melhoria no planejamento dessa infraestrutura;
- A área florestal analisada apresentou densidade de estradas e quantitativo de pátios de estocagem de 32,1% e 29% respectivamente, acima do ótimo planejamento aprovado. Esse aumento se deu devido as decisões tomadas pelo engenheiro florestal responsável, necessárias para que houvesse a continuidade no trabalho em campo. Todavia os critérios de planejamento e execução utilizados estavam em conformidade com o manejo sustentável praticável e dentro das normas de legislação.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA, F. D.; GARCÍA, M. L.; DE LIMA, M. P. Densidade ótima de estradas e pátios baseada no custo mínimo do sistema de exploração no manejo de florestas nativas no Estado de Mato Grosso. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 5., 2011, Santa Maria, RS. Sustentabilidade florestal: [anais]. Santa Maria, RS: UFSM, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, 2011, p. 42-48.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**. v. 22, n. 6, dez. 2013. Schweizerbart, 711-728 p. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Acesso em: 08 mar. 2022.

AMARAL, P.; VERÍSSIMO, A.; BARRETO, P.; VIDAL, E. **Floresta para Sempre: um manual para a produção de madeira na Amazônia**. Belém-PA: IMAZON. 1998. 137p.

ASNER, G. P; KELLER, M. PEREIRA, R.; ZWEEDE, J. Remote sensing of selective logging in Amazonia: Accessing limitations based on details field observations, Landsat ETM+, and textural analysis. **Remote Sensing of Environment**, v. 80, p. 483-496, 2002.

BARRETO, P.; AMARAL, P.; VIDAL, E.; UHL, C. Costs and benefits of forest management for timber production in Eastern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 108, p. 9-26, 1998.

BASKENT, E. Z.; KELES, S. Spatial forest planning: A review. **Ecological Modelling**. v.188, n. 2-4, p. 145-173. 2005.

BRASIL. Instrução normativa nº 04 de 4 de março de 2002. Dispõe sobre os procedimentos relativos às atividades de Manejo Florestal Sustentável de Uso Múltiplo na Amazônia Legal. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 7 mar. 2002. 16p.

BRASIL. Instrução normativa nº 05 de 11 de dezembro de 2006. Dispõe sobre procedimentos técnicos para elaboração, apresentação, execução e avaliação técnica de Planos de Manejo Florestal Sustentável-PMFS's. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2006a. 19p.

BRASIL. Lei nº 11.284, de 2 de março de 2006. Dispõe sobre a gestão de florestas públicas para a produção sustentável; institui, na estrutura do Ministério do Meio Ambiente, o Serviço Florestal Brasileiro - SFB; cria o Fundo Nacional de Desenvolvimento Florestal - FNDF; altera as Leis nºs 10.683, de 28 de maio de 2003, 5.868, de 12 de dezembro de 1972, 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, 4.771, de 15 de setembro de 1965, 6.938, de 31 de agosto de 1981, e 6.015, de 31 de dezembro de 1973; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. 2006b.

BRASIL. Resolução nº406 de 02 de fevereiro de 2009. Estabelece parâmetros técnicos a serem adotados na elaboração, apresentação, avaliação técnica e

execução de Plano de Manejo Florestal Sustentável – PMFS. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2009. 5p.

BRASIL. N° Lei 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Brasília: **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 2012.

BRASIL. Instrução Normativa n° 05 de 10 de setembro de 2015. Dispõe sobre procedimentos técnicos para elaboração, apresentação, execução e avaliação técnica de Plano de Manejo Florestal Sustentável – PMFS nas florestas nativas exploradas ou não e suas formas de sucessão no Estado do Pará, e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado**, Pará. 2015.

BRAZ, E. M. **Otimização da rede de estradas secundárias em projetos de manejo sustentável de floresta tropical**. Circular Técnica n. 15, Embrapa-CPAF. Rio Branco, AC, p. 36. 1997.

BRAZ, E. M.; D' OLIVEIRA, M. V. N. Planejamento de arraste mecanizado em floresta tropical. (**Instruções Técnicas**), n. 5, p.1-6, 1997.

BRAZ, E. M.; OLIVEIRA, M. V. N. D'.; ARAUJO, H. J. B. de.; MIRANDA, E. M. de. Plano de exploração sob critérios de manejo florestal de baixo impacto. **Embrapa - CPAF/AC**. Rio Branco, p. 20. 1998. (0100-9915).

BRAZ, E. M.; D'OLIVEIRA, M. V. N. Planejamento da extração madeireira dentro de critérios econômicos e ambientais. **Embrapa**. Rio Branco, p. 17. 2001. (0100-9915).

BRAZ, E.M. **Planejamento da exploração em florestas naturais**. Documentos, EMBRAPA Florestas. Colombo, p. 32. 2005.

BRAZ, E. M. et al. **Colheita de precisão para o manejo das florestas naturais na Amazônia brasileira**. 7º Simpósio Brasileiro Sobre Colheita E Transporte Florestal - SIF. Vitória - ES: Sociedade de Investigações Florestais -SIF. 2005. p. 382 - 395.

BRAZ, E. M. **Subsídios para o planejamento do manejo de florestas tropicais da Amazônia**. 2010. 236 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

BRAZ, E. M.; BASSO, R. O.; FIGUEIREDO, E. O.; OLIVEIRA, M. V. N. d'. Estudo do sistema de exploração florestal relativo ao manejo empresarial, no Estado de Mato Grosso. **Embrapa Florestas**, 2010. 6 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico 261).

BRAZ, E. M.; MATTOS P. P. Manejo de produção em florestas naturais da Amazônia: verdades e mitos. **Nativa**. Sinop – MT. v. 3, n. 4, p. 292 – 295. 2015.

BRAZ, E. M.; BASSO, R. O.; CURTO, R. A.; MATTOS, P. P.; SILVA, J. P. **Densidade ótima de estradas para a exploração em Plano de Manejo**



**Florestal**. In: 18º Seminário de colheita e transporte de madeira, 2018, Ribeirão Preto, SP, Brasil. p45-49.

CARMO, F. C. A.; FIEDLER, N. C.; LOPES, E. S.; PEREIRA, D. P.; MARIN, H. B.; SILVA, E. N. Análise da densidade ótima de estradas florestais em propriedades rurais. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 3, p. 451-459, 2013.

CONTRERAS, M.; CHUNG, W. computer approach to finding an optimal log landing location and analyzing influencing factors for ground-based timber harvesting. **Canadian Journal of Forest Research**, v.37, no. 2, 276–292. 2007.

CORRÊA, C.M.C. **Perdas de solo e qualidade da água proveniente de estradas de uso florestal no Planalto Catarinense**. 2005. 156p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

DYKSTRA, D.; HEINRICH, R. 1996. **Código Modelo de Práticas de Aprovechamiento Forestal de la FAO**. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 85 p.

EMMERT, F. **Combinação de dados de campo e métodos computacionais para o planejamento da exploração florestal na Amazônia**. Tese de Doutorado - Universidade de Brasília - UNB, DF, p.190. 2014.

FELDPAUSCH, T. R; JIRKA, S.; PASSOS, C. A. M.; JASPER, F. RIHA, S.J. When big trees fall: damage and carbono export by reduced impact logging in Southern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 219, p. 199-215, 2005.

FIGUEIREDO, E. O. Manejo de precisão em florestas tropicais: modelo digital de exploração florestal. Rio Branco: **Embrapa Acre**, 2007. 183 p.

FIGUEIREDO, E. O. MODEFLORA: Modelo Digital de Exploração Florestal. Rio Branco, AC: **Embrapa Acre**, 2008. 2 p. (Embrapa Acre. Impactos).

FUNDAÇÃO FLORESTA TROPICAL. Manual de procedimentos técnicos para condução de manejo florestal e exploração de impacto reduzido. Belém: **Fundação Floresta Tropical**, 2002. 86 p.

GONÇALVES, J.L.M. Conservação do solo. In: GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L. Conservação e cultivo de solos para plantações florestais. Piracicaba: **IPEF**, 2002. cap.2, p.47-130.

GULLISON, R. E.; HARDNER, J. J. The effects of road design and harvest intensity on forest damage caused by selective logging empirical results and a simulation model from the Bosque Chimanos, Bolivia. **Forest Ecology and Management**, v. 59 no. 1-2, p. 1-14, 1993.

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: CDDI; IBGE, 2012. 271 p. (Série Manuais Técnicos em Geociências, n. 1).

INSTITUTO FLORESTA TROPICAL – IFT. [online]. [citado em 2011 set. 9].  
Disponível em: <http://www.ift.org.br/>

ISAAC JÚNIOR, M. A.; BARBOSA, B. H. G.; GOMIDE, L. R.; CALEGARIO, N.; FIGUEIREDO, E. O.; FILHO, L. O. M.; MELO, E. A.; DANTAS, D. **Alocação de pátios de armazenamento de madeira em um plano de manejo florestal na Amazônia ocidental**. XLVI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. Salvador, BA: [s.n.]. 2014.

LIU, K.; SESSIONS, J. Planejamento Preliminar de Sistemas Rodoviários Usando Modelos Digitais de Terreno. *Int. J. Para. Eng* 1993, 4, 27–32.

MACHADO, C. C. **Construção e Conservação de estradas rurais e florestais**. Viçosa, MG. 2013. 441p.

MARTINHAGO, A. Z. **Otimização para a locação de pátios de estocagem para exploração de impacto reduzido na Amazônia brasileira**. 2012. 163 p. Tese de Doutorado - Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2012.

NEWNHAM, R; M ROADPLAN: Uma ferramenta para projetar redes de estradas florestais. *Int. J. Para. Eng*. 1995, 6, 17–26.

OLIVEIRA, R.J. et al. Análise de Processo Hierárquico para Gerir as Estradas Florestais. *Revista Floresta e Ambiente*, 2013 jan./mar.; vol. 20(n.1):38-44p.

PHILIPPART, J.; SOL, M.; DOUCET, J.-L.; LEJEUNE, P. Formulação matemática e solução exata para o problema de localização de desembarque na extração seletiva de madeira tropical, um estudo de caso no sudeste de Camarões. *J. Para. Econ*. 2012, 18, 113–122.

PINAGÉ, E. R.; MATRICARDI, E. A. T. Detecção da Infraestrutura para Exploração Florestal em Rondônia Utilizando Dados de Sensoriamento Remoto. *Floresta e Ambiente*, v. 22, n. 3, p. 377–390, 2015.

SABOGAL, C.; SILVA, J.N.M.; ZWEEDE, J.; PEREIRA JÚNIOR, R.; BARRETO, P.; GUERREIRO, C.A. **Diretrizes técnicas para a exploração de impacto reduzido em operações florestais de terra firme na Amazônia brasileira**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 64. 52p. 2000.

SCHULZE, M.; ZWEEDE, J. Canopy dynamics in unlogged and logged Forest stands in the eastern Amazon. *Forest Ecology and Management*, v. 236, p. 56-64, 2006.

SECRETARIA MUNICIPAL DE CULTURAL, ESPORTE, LAZER E TURISMO. **Levantamento da Oferta Turística do Município de Portel**. Portel/PA. 2012.

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE- SEMMA. Plano Municipal de Meio Ambiente. Pacaja. Março, 2017, Disponível em: <http://pacaja.pa.gov.br/portal->

da- [transparencia/estruturaorganizacional/secretaria-municipal-de-meio-ambiente/](#) acessado em: 21 de fevereiro de 2022.

SILVA, C. B.; SANT'ANNA, C. M.; MINETTE, L. J. Avaliação ergonômica do "Feller-buncher" utilizado na colheita de eucalipto. **Revista Cerne**, Lavras, v. 9, n. 1, p. 109-118, 2003.

SILVA, E. F. **Alocação de pátios de estocagem em Planos De Manejo na Amazônia por meio de Programação Matemática**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo. 2015.

SILVA, E. F.; SILVA, G. F.; FIGUEIREDO, E. O.; BINOTI, D. H. B.; MENDONÇA, A. R.; TORRES, C. M. M. E.; PEZZOPANE, J. E. M. Allocation of storage yards in management plans in the Amazon by means of mathematical programming. **Forests**. v. 9, n.3, p 127. 2018a.

SILVA, P. H.; GOMIDE, L. R.; FIGUEREDO, E. O.; CARVALHO, L. M. T. de; FERRAZ-FILHO, A. C. Optimal selective logging regime and log landing location models: a case study in the Amazon forest. **Acta Amazonica** 48, 18–27. 2018b.

SOUZA, D. V.; CARVALHO, J. O. P.; MENDES, F. S.; MELO, L. O.; SILVA, J. N. M.; JARDIM, F. C. S. Crescimento de espécies arbóreas em floresta natural de terra firme após a colheita de madeira e tratamentos silviculturais no município de Paragominas, Pará, Brasil. **Ciência Florestal**. Santa Maria-RS, v.25, n.4, p. 873-883. 2015.

SOUZA, M. A. S.; AZEVEDO, C. P.; SOUZA, C. R.; FRANÇA, M.; NETO, E. L. V. Dinâmica e produção de uma floresta sob regime de manejo sustentável na Amazônia Central. **Revista Floresta**, Curitiba, v.47, n.1, p.55-63, 2017

SØVDE, N. E.; LØKKETANGEN, A.; TALBOT, B. Applicability of the GRASP metaheuristic method in designing machine trail layout. **Forest Science Technology**. v.9, 187–194. 2013.

## **CAPÍTULO 2 – Otimização de pátios de estocagem de toras em manejo florestal sustentável da Amazônia**

**Resumo:** No manejo de florestas nativas amazônicas, as infraestruturas, como pátios de estocagem e trilhas de arraste, são atributos dispendiosos e responsáveis por grande parte dos impactos ambientais nas operações de manejo florestal. O objetivo deste estudo foi aplicar um modelo matemático de otimização para a alocação de pátios de estocagem em floresta nativa. O estudo foi realizado em uma fazenda florestal, localizada no município de Portel, estado do Pará. A área analisada possui 3.556,27 hectares. A área de estudo foi subdividida em três áreas menores pela empresa o que auxiliou a otimizar a quantidade e tamanho de pátios. As dimensões dos pátios de estocagem foram de 25 x 25 m, tendo como distância máxima de arraste das árvores do local de derrubada até o pátio de estocagem priorizada em 250 m. Foram analisados dois modelos: Modelo A - sem penalizações e Modelo B - com penalizações de custo para abertura de pátios de estocagem por meio da programação linear inteira mista. Entre os modelos, a área 3 foi a que teve menos exclusões de pátio ao adicionar a penalização de custos de abertura, podendo ser considerada a que melhor geriu a distribuição dessa infraestrutura na exploração. O número de pátios alocados pelo modelo B foi reduzido em 27,33% demonstrando ser eficiente na redução de impactos (5,31 ha) e também na uniformidade da quantidade de madeira a ser armazenada. As soluções encontradas pelos modelos tratam-se de um caminho de menor dano acumulado, certamente soluções viáveis que podem ser adotada pela empresa.

**Palavras-chave:** Floresta Tropical, planejamento florestal, Programação Linear Inteira mista

### **Optimization of storage yards in Amazonia sustainable forest management in the Amazon**

**Abstract:** In the management of native Amazonian forests, infrastructure, such as stockyards and skid trails, are costly attributes and are responsible for a large part of the environmental impacts in forest management operations. The objective of this study was to apply a mathematical optimization model for the allocation of storage yards in native forest. The study was carried out in a forestry company, located in the municipality of Portel, state of Pará. The analyzed area has 3,556.27 hectares. The study area was subdivided into three smaller areas by the company, which helped to optimize the number and size of yards. The dimensions of the storage yards were 25 x 25 m, with the maximum skid distance of trees from the felling site to the prioritized storage yard being 250 m. Two models were analyzed using mixed integer linear programming: Model A - without penalties and Model B - with cost penalties for opening stockyards. Among the models, area 3 had the fewest storage yard exclusions when adding the opening cost penalty, and can be considered the one that best managed the distribution of this infrastructure in the exploration. The number of storage yards allocated by model B was reduced by 27.33%, proving to be efficient in reducing impacts (5.31 ha) and also in the uniformity of the amount of wood to be stored. The solutions found by the models were a path of least accumulated damage, certainly a viable solutions that can be adopted by the company.

**Keywords:** Tropical forest, forest planning, Mixed Integer Linear Programming

## 1. INTRODUÇÃO

A floresta amazônica aparece como sendo de grande importância mundial, pois é a maior floresta tropical úmida, detentora da maior reserva de recursos florestais e da maior diversidade do planeta. A comercialização da madeira está entre as principais atividades econômicas de alguns municípios da Amazônia e quando realizada sem manejo adequado traz uma série de impactos negativos que acarretam em danos e desperdícios nos remanescentes florestais transformando-os em degradados, de baixo valor comercial e reduzindo a sua capacidade de regeneração (PINTO et al., 2002; BROZA, 2012).

A adoção do Manejo Florestal Sustentável tem se tornado uma alternativa viável, pois visa a disponibilização dos recursos florestais ao longo do tempo, por meio de um conjunto de princípios, técnicas e normas que garantem a ordenação dos fatores de produtividade e rendimento de forma a alcançar as metas estabelecidas, gerando benefícios socioambientais e econômicos (HIGUCH, 1994). Segundo Gama et al. (2005) a finalidade do manejo florestal é conseguir que as florestas forneçam continuamente benefícios econômicos, ecológicos e sociais, mediante um planejamento mínimo para o aproveitamento dos recursos madeireiros e não madeireiros disponíveis.

Para tanto, o manejo florestal sustentável, é um processo de gerenciamento e planejamento florestal, no sentido de analisar as melhores ações para uma resposta socioeconômica e ambiental favorável a médio e longo prazo. Quando voltado para a produção de madeira, as diferenças regionais envolvendo os parâmetros de fitofisionomia das florestas, considerando a autoecologia das espécies e no contexto socioeconômico em que o manejo é praticado, tornam de grande importância a quantidade de informações geradas em áreas pouco estudadas (CONDÉ; TONINI, 2013).

Dentre as atividades da exploração florestal a abertura de pátios de estocagem tem grande importância, em função do seu grau de impacto e dos altos custos envolvidos, sendo que a localização precisa destes influenciará na disposição das estradas e no alto rendimento da operação de arraste (PHILIPPART et al., 2012). Segundo Braz et al. (2001) a localização imprecisa dos pátios de estocagem é um dos fatores limitantes da operação de arraste, que é uma das atividades mais onerosas, não podendo de forma alguma ser negligenciada, pois o planejamento adequado do arraste pode aumentar a

produtividade de 50% a 100%. Alguns estudos retratam o planejamento de infraestruturas intuitivo (PHILIPPART et al., 2012; Silva et al., 2018b, 2018c) com suporte de sistema de informação (SIG) (LIU e SESSIONS, 1993; NEWNHAM, 1995; BASKENT; KELES, 2005). Esse processo intuitivo está ligado à experiência dos engenheiros, que gastam mais tempo alocando infraestruturas do que analisando a viabilidade do planejamento (SILVA et al., 2018b, 2018c).

Para redução dos custos das atividades de exploração o setor florestal vem se desenvolvendo cada vez mais e utilizando a tecnologia ao seu favor, com grandes investimentos em mecanização e equipamentos cada vez mais modernos, sempre buscando otimizar as atividades florestais, nesse sentido há um aumento do uso de ferramentas computacionais no planejamento das atividades florestais.

O uso de programas computacionais desenvolvidos com base em modelos de programação linear vem crescendo no setor florestal, permitindo concentrar maior número de informações na elaboração do plano de manejo em florestas inequidêneas e possibilitando definir quando se deve realizar a operação de corte, o local, melhor distribuição das infraestruturas e a quantidade a ser explorada (SILVA et al., 2018a). O uso dessas tecnologias tem tornado as atividades de exploração cada vez mais criteriosas e tomado lugar de destaque em trabalhos de otimização por conseguir adaptar-se a heterogeneidade dos diferentes ambientes.

Estudos relacionados à alocação de pátios de armazenamento geralmente têm sido aplicados a pequenas áreas de manejo (CONTRERAS e CHUNG, 2007; PHILIPPART et al., 2012; SILVA et al., 2018b, 2018c). Claramente, existem limitações na obtenção de soluções exatas para modelos matemáticos de programação linear inteira, devido ao crescimento exponencial do número de variáveis. Isso pode ser observado em estudos que mostram complexidade crescente à medida que aumenta o número de variáveis (FERNANDES et al., 2014; GUASTARROBA; SPERANZA, 2014; HO, 2015; STEFANELLO et al., 2015; YAGHINI et al., 2013).

Nota-se que, se forem aplicadas práticas de manejo florestal e a elas forem aliados programas computacionais, as atividades florestais poderão se tornar mais sustentadas e confiáveis, de forma a reduzir os impactos ambientais causados pelas operações de exploração, o que garantirá o direito das futuras

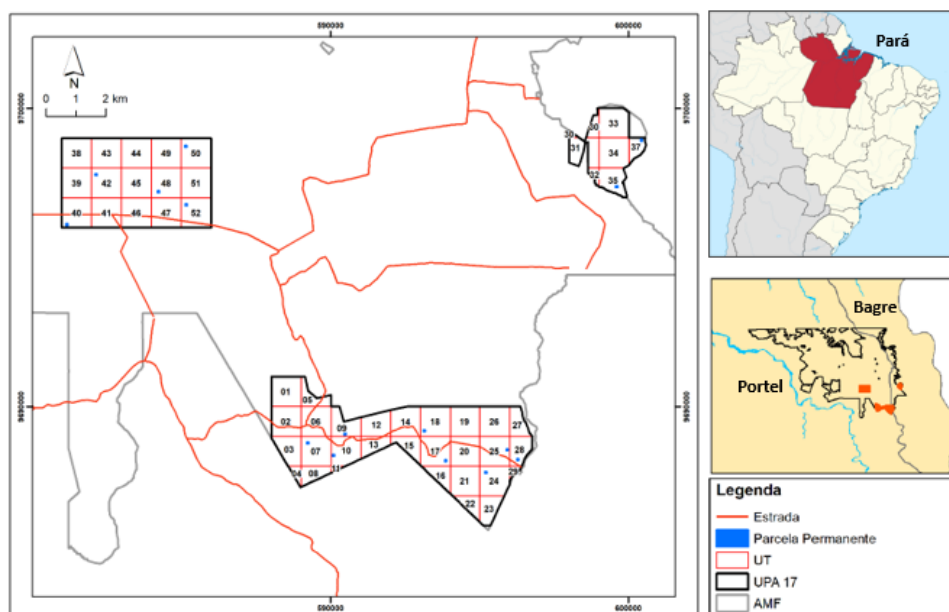
gerações de usufruir os recursos e benefícios naturais, presentes na geração atual.

O objetivo deste estudo foi aplicar um modelo matemático de otimização em conjunto com sistema de informação geográfica para auxiliar a alocação de pátios de estocagem em floresta nativa, considerando o conceito de impacto reduzido.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Localização e características da área de estudo

O estudo foi realizado em uma empresa florestal, localizada no município de Portel, estado do Pará, entre as coordenadas geográficas 2° 43' 12,50" S e 50° 28' 57,40" W. A Unidade de Produção Anual (UPA 17) possui 4.027,68 hectares de relevo plano, sendo 3.556,27 hectares destinados ao manejo florestal (AMF), 376,07 hectares de área de preservação permanente (APP) e 95,33 hectares de área antropizada (Figura 12).



**Figura 12.** Localização geográfica da área de estudo, UPA 17 - PA.  
Fonte: SEMAS, 2020.

O clima da região é do tipo Af, segundo a classificação de Köppen determinado como clima tropical úmido, possui período mais chuvoso entre os meses de fevereiro a abril e mais seco de agosto a outubro (SECEL, 2012; ALVARES et al., 2013). A vegetação predominante é composta de Floresta

Ombrófila Densa de Terras Baixas com dossel emergente. Este ambiente fitoecológico é caracterizado por apresentar uma vegetação sempre-verde, com árvores de folhas perenes e raramente caducifólias, dossel fechado, elevada biomassa e algumas árvores emergentes, com altura variando de 30 a 50 m (IBGE, 2012; SEMMA, 2017). Os solos predominantes da região são classificados como Latossolo amarelo distrófico, Areias quartzosas distróficas, Plintossolo álico textura média e Gley pouco húmico distrófico (SECELT, 2012).

## **2.2. Floresta manejada**

O manejo florestal na UPA 17 objetivou atender demandas próprias de comercialização sendo a exploração dividida em três áreas (Figura 13) com 51 unidades de trabalho (UT) contendo uma superfície de aproximadamente 100 ha. O diâmetro mínimo de corte (DMC) considerado foi de 50 cm, conforme legislação vigente.

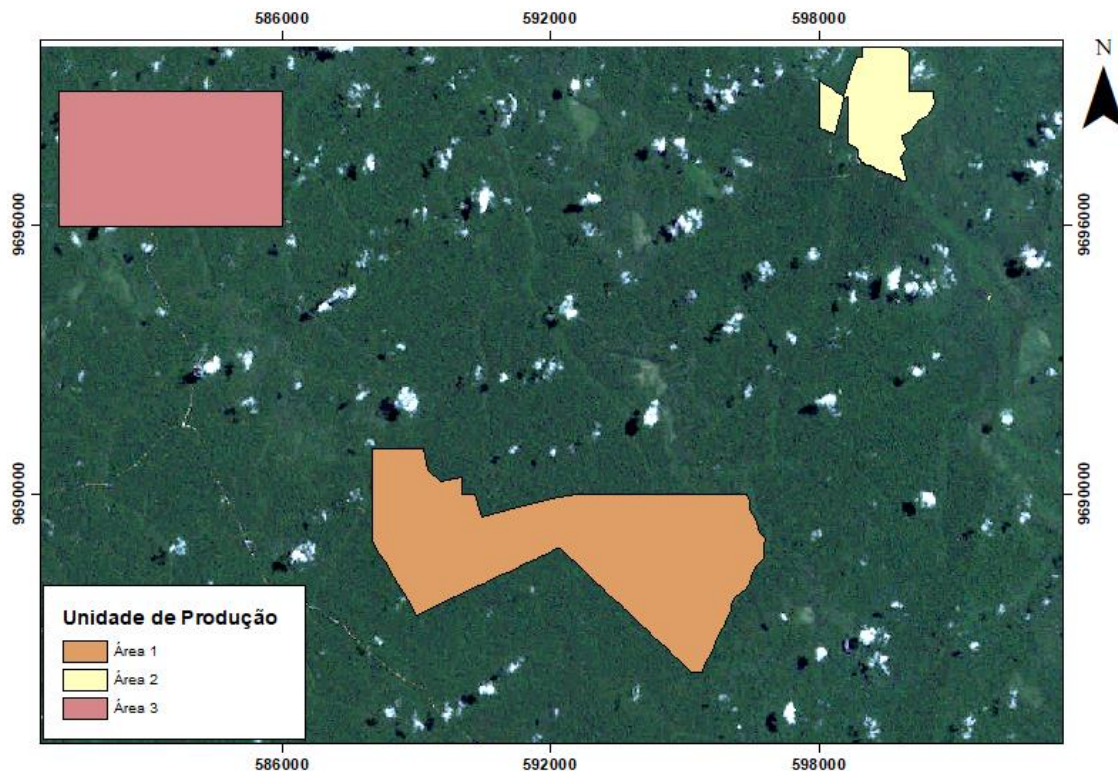
A partir do inventário florestal 100% (censo) realizado na UPA, foram selecionadas 44 espécies comerciais seguindo critérios exigidos pela legislação, densidade maior que 0,03 árvores.ha<sup>-1</sup> da área de efetiva exploração da UT e manutenção de pelo menos 10% (dez por cento) do número de árvores por espécie inventariada e para as espécies que se enquadravam na categoria de vulnerabilidade a densidade foi maior que quatro indivíduos a cada 100 hectares e manutenção de pelo menos 15% do número de árvores por espécie.

A intensidade de corte adotada pela empresa no manejo florestal foi de aproximadamente 15,5 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, equivalente a 4,61 árvores.ha<sup>-1</sup>, perfazendo uma volumetria de 55.088 m<sup>3</sup> referente a 16.425 árvores.

A UPA foi dividida em três áreas:

- Área 1: UT's 01 a 29, com área de 1.900,87 hectares;
- Área 2: UT's 30 a 37, com área de 257,94 hectares;
- Área 3: UT's 38 a 52, com área de 1.397,46 hectares.





**Figura 13.** Divisão da Unidade de Produção, UPA 17- PA.

### 2.3. Volume

Conforme previsto no Plano de Manejo Florestal Sustentável – PMFS, para a estimativa dos volumes individuais das árvores inventariadas, a partir da segunda UPA, uma equação local foi ajustada com base na cubagem rigorosa realizada com os dados obtidos da primeira UPA. A equação de volume ajustada foi a seguinte:

$$v \text{ (m}^3\text{)} = 0,00008912 \text{ (d}^2\text{h)}^{0,948} \quad \text{(Fórmula 1)}$$

Em que:

v = volume comercial em metros cúbicos (m<sup>3</sup>);

d = diâmetro a altura do peito em metros (m);

h = altura comercial em metros (m).

### 2.4. Pátios

Para a localização geográfica em relação à quantidade e distribuição dos pátios de estocagem definidos no Manejo Florestal Sustentável foi usado o software ArcMap 10.8. As dimensões dos pátios de estocagem foram de 25 x 25

m, tendo como distância máxima de arraste das árvores do local de derrubada até o pátio de estocagem priorizada em 250 m.

## 2.5. Otimização

A técnica Programação Linear Inteira (PLI) foi utilizada com o objetivo de otimizar a alocação de pátios de estocagem, visando a minimização do tempo, distância e custos de extração. Foi utilizada a Programação Linear Inteira Mista ou *Mixed Integer Linear Programming* (MILP), que é uma variante da programação linear, em que parte das variáveis devem ser números inteiros e binários. Para o processamento dos dados utilizou-se os softwares *Microsoft Excel* e LINGO (*Language for Interactive General Optimizer*). Foram criadas planilhas no *Excel* considerando dois modelos:

- Modelo A (sem penalização para abertura de pátios).
- Modelo B (com penalização para a abertura de pátio): atribuída uma penalidade arbitrária, para o custo da abertura dos pátios de estocagem ( $c_j$ ), sendo aplicada para cada pátio aberto, representando um custo fictício.

Em ambos os modelos foram utilizadas as referências de áreas e características apresentada na Tabelas 9:

**Tabela 9.** Quantitativo de árvores e pátios de estocagem para o processamento dos modelos conforme PMFS executado.

	Tamanho (ha)	Nº árvores manejadas	Pátios
Área 1	1.900,87	7.175	180
Área 2	257,94	1.531	25
Área 3	1.397,46	7.719	106
<b>Total</b>	<b>3.556,27</b>	<b>16.425</b>	<b>311</b>

### 2.5.1 Restrições e função objetivo dos modelos

A função objetivo do problema envolveu a minimização da distância de arraste das árvores, e por consequência, a minimização dos impactos a floresta em função das aberturas indevidas de pátios de estocagem. Para que não fossem abertos todos os pátios foram criadas restrições ao problema, sendo estas:

- Os pátios são variáveis binárias, sendo 0 ou 1, significa se irão ou não serem abertos;

No fator de restrição de abertura dos pátios de estocagem foi acrescentada a informação do volume comercial a cada árvore. Com as coordenadas UTM de cada árvore (oriunda do inventário) e de cada pátio, foi possível determinar a distância euclidiana entre as árvores e os pátios, usando a seguinte fórmula:

$$D_{ij} = \sqrt{(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2} \quad (\text{Fórmula 2})$$

Em que:

$D_{ij}$  = Distância euclidiana entre árvore (i) e pátio (j) (m);

$x_i$  = Coordenada X da árvore i (UTM);

$x_j$  = Coordenada X do pátio j (UTM);

$y_i$  = Coordenada Y da árvore i (UTM);

$y_j$  = Coordenada Y do pátio j (UTM).

- Cada árvore só pode ser usada uma vez, evitando que a árvore seja colocada em mais de um pátio;
- Restrição de distância máxima de arraste de 250 metros;

Com o objetivo de agilizar o processamento, a restrição de que cada árvore fosse enviada para um único pátio, foi relaxada. Com isso algumas árvores foram divididas para dois pátios, como se a árvore fosse cortada e cada pedaço fosse para pátios diferentes. Mesmo ocorrendo isso a restrição continuou válida e, nestes poucos casos onde houve a divisão da árvore, o pátio para onde foi a maior parte da árvore foi o pátio definido para onde a árvore realmente foi retirada. Caso o pátio para onde a maior parte da árvore foi colocada ultrapassasse o limite da restrição de distância máxima de arraste, se manejou a árvore para o outro pátio onde a programação tinha a colocado também.

- A somatória dos volumes das árvores a serem arrastadas para o pátio (variável nomeada como atendido) devem ser menor ou igual a demanda máxima de cada pátio;

- Penalização da função objetivo adicionando um custo para cada pátio a ser aberto.

A planilha com informações  $D_{ij}$  que representa a tabela das distâncias entre as árvores e os pátios, foi minimizada na função objetivo, como citado anteriormente, os resultados de quais árvores vão para quais pátios foi depositada pelo LINGO na tabela Excel na tabela  $X_{ij}$ , que representa os resultados alcançados pela programação (Quadros 1 e 2).

**Quadro 1.** Exemplo de distâncias entre árvores e pátios de estocagem\*

		<b>Demanda</b>	<b>300 m<sup>3</sup></b>	<b>300 m<sup>3</sup></b>	<b>300 m<sup>3</sup></b>
		<b>Atingido</b>			
<b>Volumes</b>	<b>Dij árvores/pátios</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>...</b>	
3,1962	<b>1</b>	935	734	...	
2,3437	<b>2</b>	846	646	...	
2,3437	<b>3</b>	835	636	...	
...	...	...	...	...	

\*As células pintadas de cinza foram onde o LINGO exportou para o Excel a solução ótima

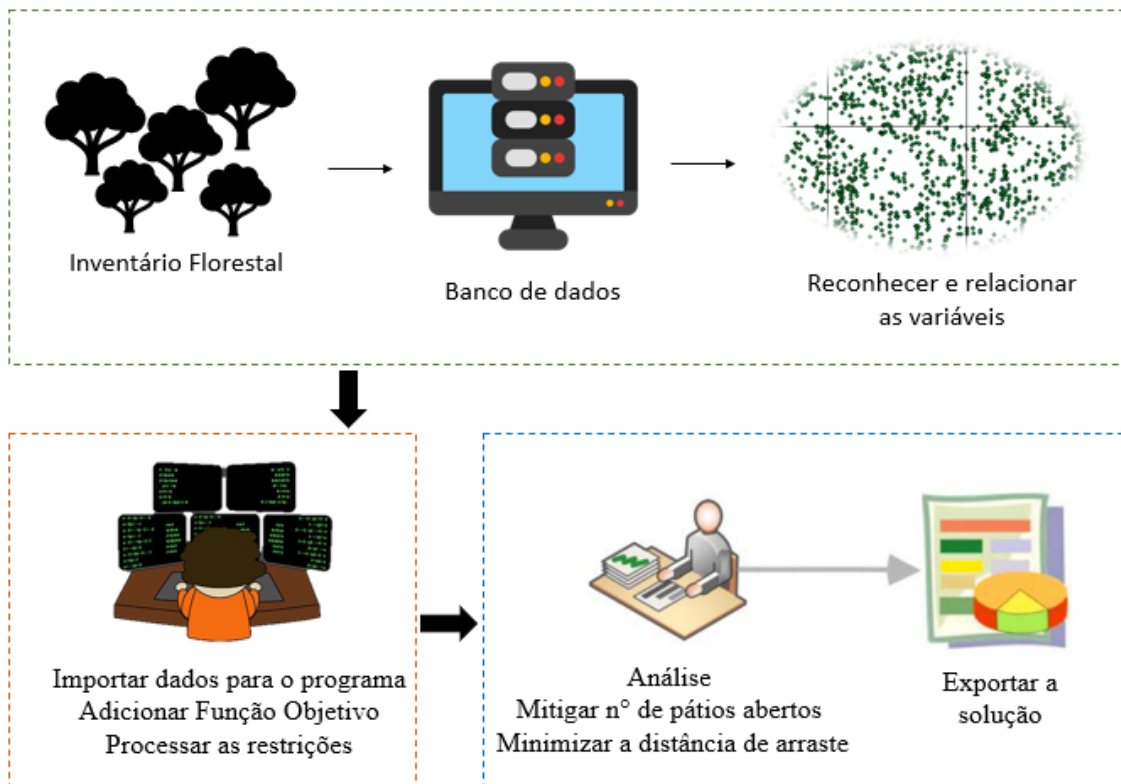
**Quadro 2.** Exemplo de resultado de função objetivo (FO) dos modelos e árvores designadas por pátio ( $X_{ij}$ )\*

<b>FO</b>	<b>Xij</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
	<b>1</b>		
	<b>2</b>		
	<b>3</b>		
	<b>...</b>		

\*As células pintadas de cinza foram onde o LINGO exportou para o Excel a solução ótima

### 2.5.2 Modelo matemático

O modelo é uma representação simplificada de uma situação real, que reflete a essência do problema, representando as relações de interdependência existentes entre todas as componentes da situação em estudo (GUIMARÃES; LAGES, 1994). Para o desenvolvimento dos modelos foram realizadas as etapas ilustradas na Figura 14.



**Figura 14.** Representação do algoritmo

O modelo MILP foi utilizado para definir os pátios necessários à exploração de todas as árvores selecionadas para corte presentes na área. A volumetria em metros cúbicos ( $m^3$ ) de tora, quantas e quais árvores vão para cada pátio foram determinadas para cada variável  $x_{ij}$ . Foi atribuída uma penalidade arbitrária para o custo da abertura dos pátios de estocagem ( $c_j$ ), sendo aplicada para cada um deles aberto, representando um custo fictício. Assim, pode-se evitar a seleção de um número excessivo de pátios e a necessidade inicial de abertura. Logo, o Modelo limitou, dentro do intervalo estipulado, a quantidade de aberturas buscando a melhor solução de acordo com a Função Objetivo ( $Min Z$ ) e suas respectivas restrições operacionais.

As variáveis consideradas no modelo foram:

- $x_{ij} = 1$ , se a árvore  $i$  é designada para o pátio  $j$ ; 0, caso contrário.
- $p_j = 1$ , se o pátio  $j$  for aberto; 0, caso contrário.

Sendo o modelo matemático da Função Objetivo:

$$Min Z = \sum_i \sum_j (d_{ij} x_{ij}) + c_j \sum_j P_j \quad (\text{Fórmula 3})$$

$$i = 1,2,3, \dots m$$

$$j = 1,2,3, \dots n$$

Em que:

$i$  = Árvores a serem extraídas;

$j$  = Potenciais pátios a serem abertos;

$Z$  = vetor resultante do somatório do deslocamento em metros das árvores  $i$  para os potenciais pátios  $j$ ;

$x_{ij}$  = 1, se a árvore  $i$  for extraída para o pátio  $j$ ; 0, caso contrário;

$d_{ij}$  = Distância entre cada árvore  $i$  e cada pátio  $j$ ;

$p_j$  = 1, se o pátio  $j$  for aberto; 0, caso contrário;

$c_j$  = Custo fixo para abertura do pátio  $j$ ;

As restrições usadas no modelo de otimização foram:

1. Cada árvore  $i$  é enviada para um único pátio  $j$ .

$$\sum_j x_{ij} = 1 \quad (\text{Fórmula 4})$$

$$i = 1,2,3, \dots n$$

2.  $p_j$  é uma variável binária que pode ser 0 ou 1.

Portanto, é uma restrição que limita o volume (das toras) direcionado para o pátio; se o pátio  $p_j$  não é aberto ( $p_j = 0$ ), nenhum volume pode ser direcionado a ele, e se for aberto ( $p_j = 1$ ) o volume a ser enviado ao pátio tem um limite máximo de 300 m<sup>3</sup>.

$$\sum_i X_{ij} \leq 300 * p_j \quad (\text{Fórmula 5})$$

$$j = 1,2,3, \dots n$$

3. Cada árvore  $i$  não pode ter distância de arraste maior que 250 metros.

Portanto, é uma restrição que faz com que a distância de arraste das árvores até os pátios não ultrapasse a máxima de 250 metros.

$$\sum_j (d_{ij} x_{ij}) \leq 250 \quad (\text{Fórmula 6})$$

$$i = 1,2,3, \dots m$$

$$j = 1,2,3, \dots n$$

Com base no valor da Função Objetivo, quantitativo e disposição dos pátios de cada modelo, comparou-se as respectivas viabilidades dos modelos a serem implementados em campo.

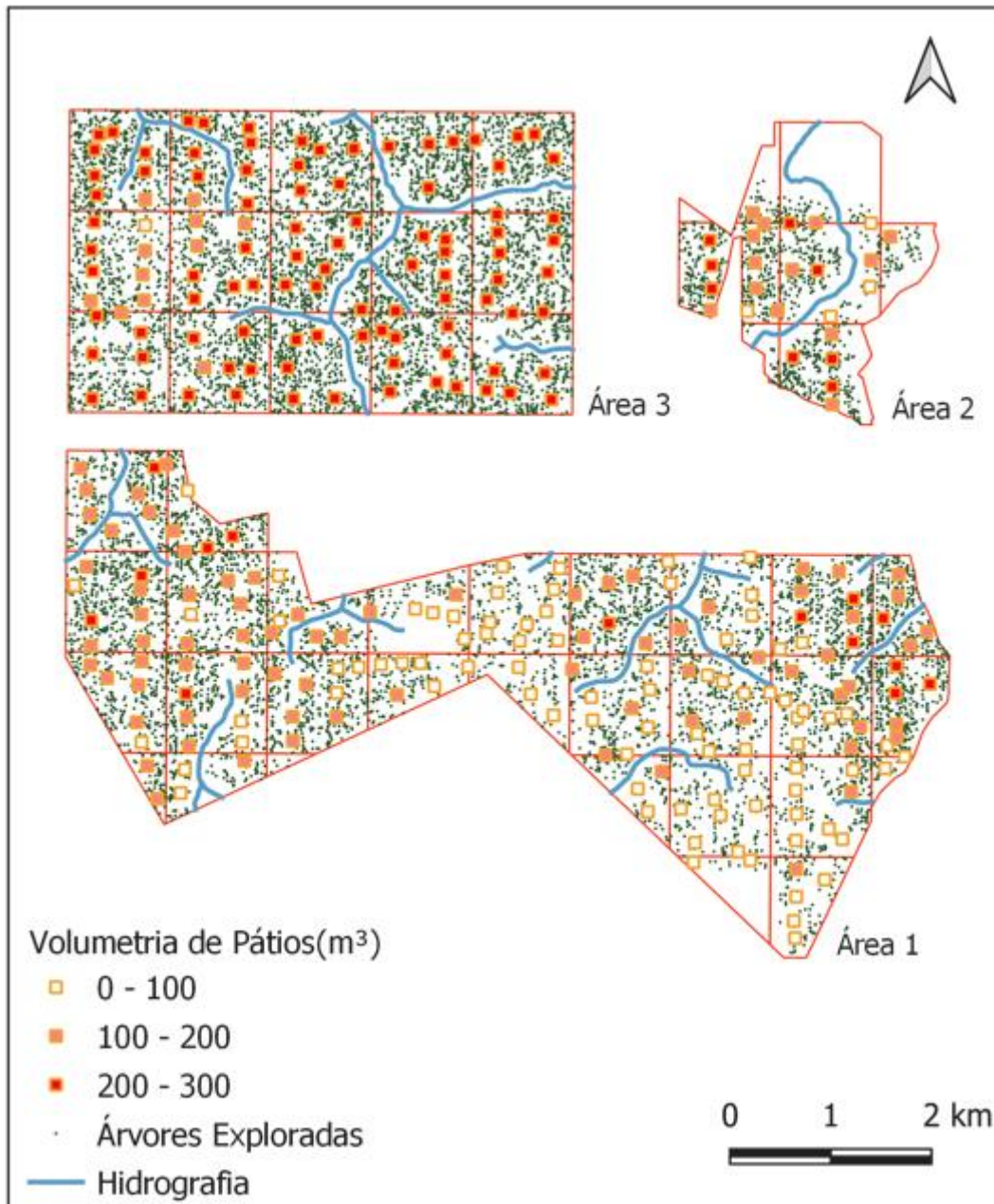
### **3. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Inicialmente, na área definida para estudo, houve um planejamento de extração das árvores para os respectivos pátios, realizado pela empresa que não levou em consideração nenhuma técnica de otimização. De acordo com este manejo florestal, ao extrair as árvores e movê-las para os pátios, percorreu-se uma distância euclidiana de ligação árvore-pátio total de 5.051,8 km.

Os modelos otimizados nessa análise se basearam na relevância do impacto ambiental, visando simular cenários de planejamento para a exploração. A partir da ferramenta de otimização foi possível dimensionar o quantitativo de árvores e volume de madeira arrastado para cada pátio de estocagem aberto nas áreas do Manejo pelo Modelo A (Figura 15). Dos pátios utilizados, 30% tiveram capacidade até 100 m<sup>3</sup>, 33% dos pátios até 200 m<sup>3</sup>, e 37% até a capacidade de 300 m<sup>3</sup>. Regiões onde foram selecionadas poucas árvores para corte foram onde os pátios estocaram menor quantitativo volumétrico.

Na área 1, ao dimensionar as menores distâncias de arraste árvore-pátio e o direcionamento de maior aproveitamento de volume por pátio (capacidade de 300 m<sup>3</sup>), dos 180 pátios abertos que representam uma área impactada de 11,25 ha ou 0,59% em relação a área de manejo autorizada no Modelo A, estes, podem ser diminuídos para 114 pátios, com uma área de abertura de 7,13 ha (0,38%) propostos pelo Modelo B (Figura 16). Com base nos resultados das distâncias entre árvores e trilhas, o arraste de todas as árvores equivaleu a um deslocamento total dos indivíduos de 1.015,2 km no Modelo A e 68.535,7 km no Modelo B. A média de armazenamento de cada pátio foi de 40 árvores, a menor distância de arraste nesta área foi de 1,0 metro e a máxima distância foi de 390 m.



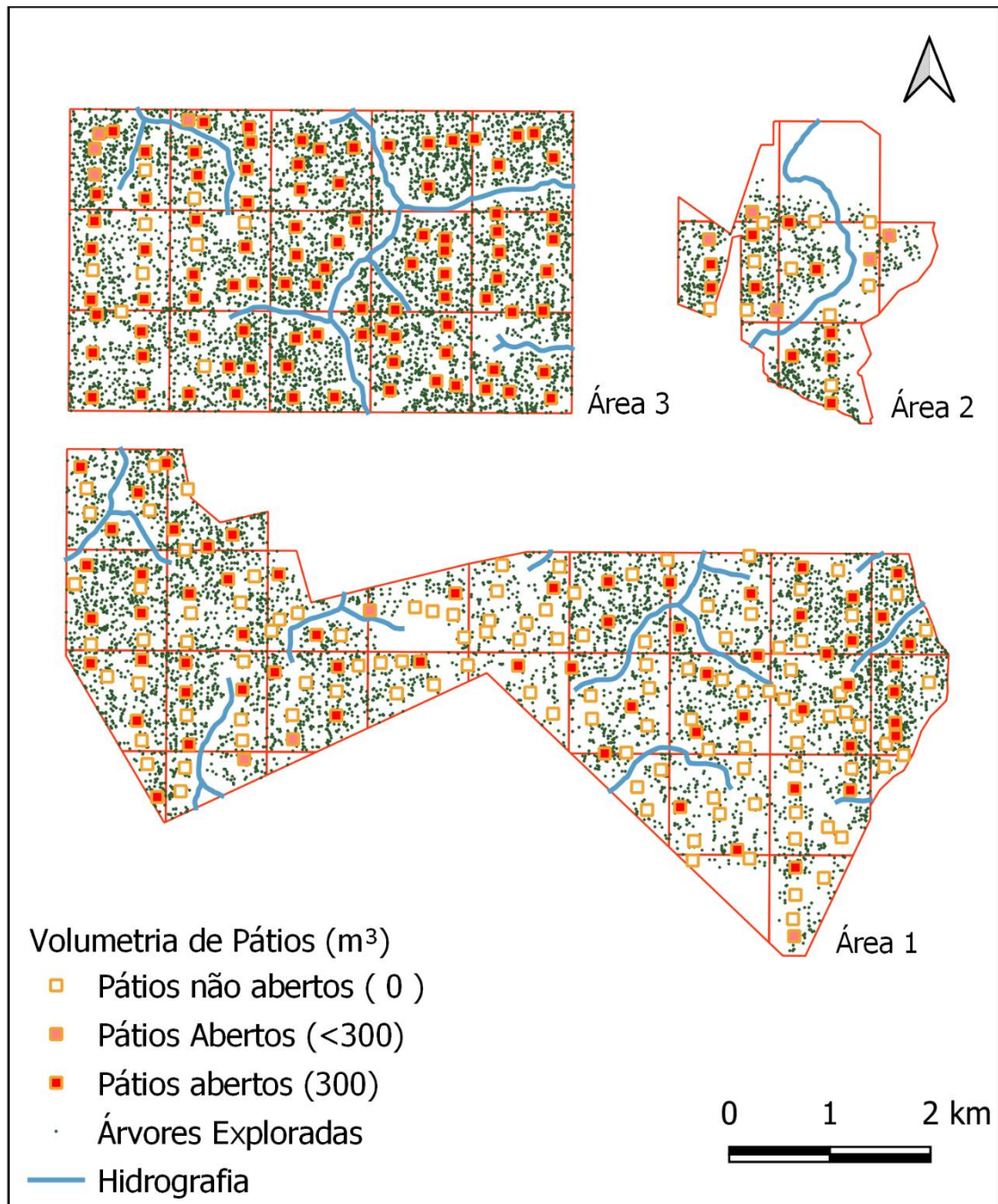


**Figura 15.** Capacidade volumétrica utilizada por pátio - Modelo A para a área de Manejo Florestal - UPA 17

Para a área 2, dos 25 pátios abertos que representam uma área de abertura de 1,56 ha ou 0,61% em relação a área de manejo autorizada no Modelo A (Figura 15), estes, podem ser diminuídos para 15 pátios com uma área de abertura de 0,94 ha (0,37%) propostos pelo Modelo B (Figura 16). As distâncias de arraste de todas as árvores correspondeu a um deslocamento total dos indivíduos de 224,2 km e 15.280,3 km respectivamente para os Modelos A



e B. A média de armazenamento de cada pátio foi de 60 árvores, a menor distância de arraste nesta área foi de 6,0 m e a máxima distância foi de 370 m.



**Figura 16.** Capacidade volumétrica utilizada por pátio - Modelo B para a área de Manejo Florestal - UPA 17.

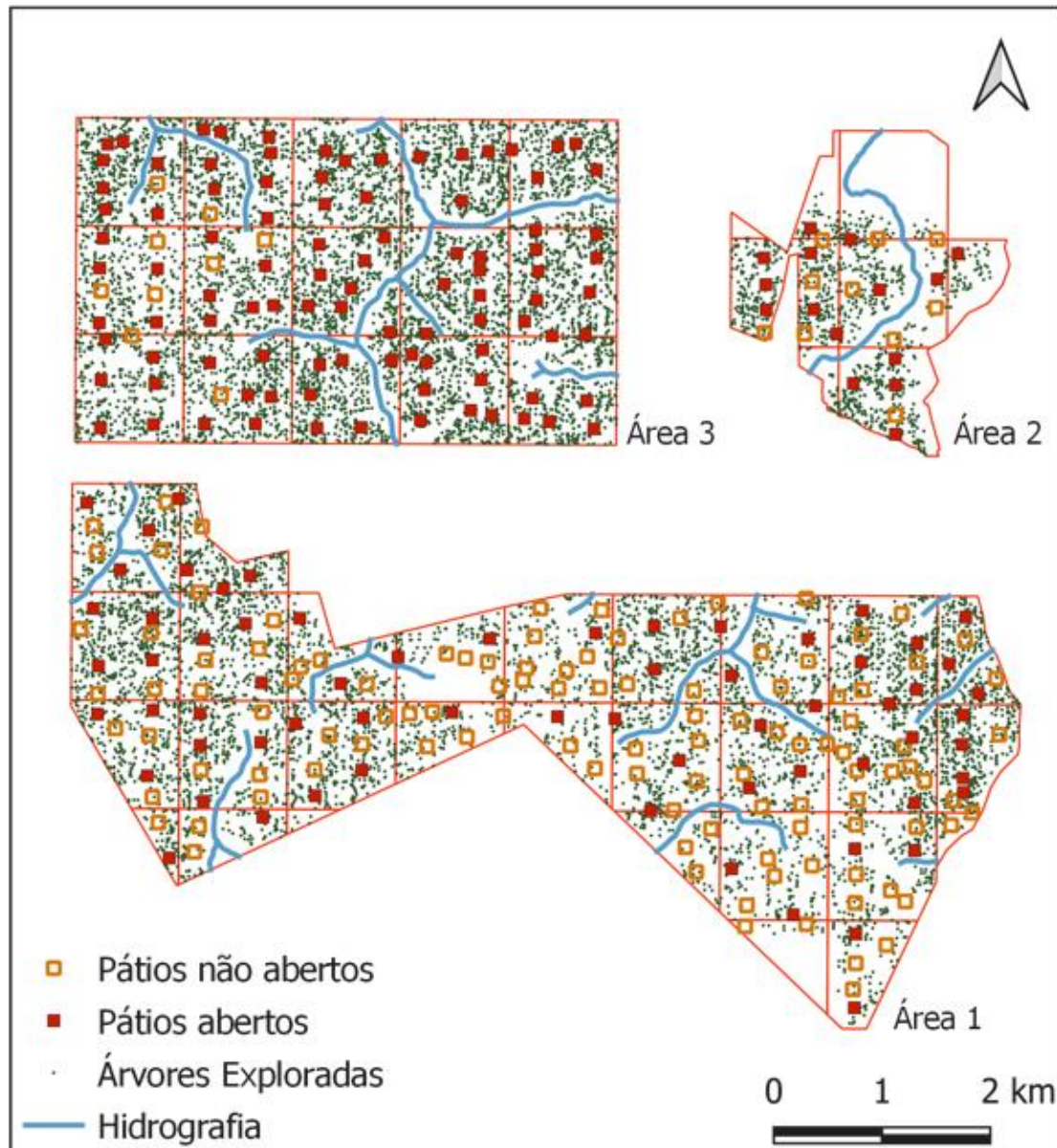
Na área 3, ao dimensionar o melhor cenário visando minimizar a distância de arraste dos indivíduos e capacidade volumétrica de  $300\text{ m}^3$ , dos 106 pátios com uma área de abertura de 6,63 ha ou 0,48% em relação a área de manejo

autorizada no Modelo A (Figura 15), estes podem ser diminuídos para 97 pátios com uma área de abertura de 6,07 ha (0,43%) propostos pelo Modelo B (Figura 16). As distâncias de arraste de todas as árvores correspondeu a um deslocamento total dos indivíduos de 1.388,7 km e 98.419,9 km respectivamente para os Modelos A e B. A média de armazenamento de cada pátio foi de 72 árvores, a menor distância de arraste nesta área foi de 2,0 metros e a máxima distância foi de 420 m.

Em todas as áreas é possível identificar que o planejamento pode ser ajustado objetivando o uso de toda a capacidade volumétrica que os pátios de estocagem proporcionam. Entre as áreas estudadas, a área 3 foi a que teve menos exclusões de pátio pelo Modelo B (nove pátios), podendo ser considerada a que melhor geriu a distribuição dessa infraestrutura no manejo florestal executado pela empresa (Figura 17). No entanto, as áreas 1 e 2 poderiam utilizar um quantitativo menor de pátios, e conseqüentemente diminuir custos e tempo. O número de pátios alocados pelo planejamento otimizado (Modelo B), nas três áreas foi de 27,33% mais eficiente na redução de impactos pela sua abertura e também na uniformidade da quantidade de madeira a ser armazenada. Essa uniformidade da distribuição volumétrica pode gerar um maior equilíbrio em termos operacionais, representando uma menor variação de produtividade.

Em termos técnicos seria operacionalmente desejável que todos os pátios englobassem números e volumes semelhantes de árvores, o que garantiria uma maior homogeneidade no abastecimento de cada pátio, ou seja, um maior aproveitamento da área aberta. No entanto, a escolha das espécies comerciais para o manejo e distribuição destas no ambiente florestal natural é heterogêneo.

Foi requerida pela otimização a redução da quantidade de pátios e uma distribuição mais equilibrada do volume a ser armazenado em cada pátio. Verificou-se entre os modelos que a restrição de volume máximo foi mais limitante que a restrição de distância, pois uma árvore posicionada acima do limite máximo de capacidade volumétrica força o modelo a selecionar uma nova trilha de arraste até o próximo pátio mais adjunto.



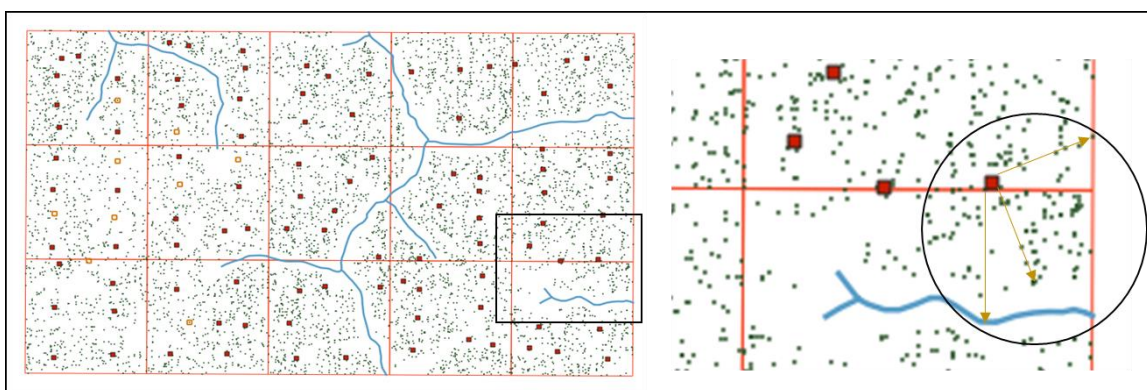
**Figura 17.** Comparação entre modelos otimizados no Manejo Florestal, UPA 17.

A empresa optou neste manejo em utilizar a exploração quente, ou seja, a madeira foi arrastada para o pátio e logo em seguida carregada, sem a necessidade da estocagem de madeira no local por um longo período de tempo. Porém, caso fosse utilizada uma exploração fria (estocar madeira no pátio por um período de tempo maior), não haveria necessidade de se aumentar a capacidade volumétrica dos pátios, visto que os modelos utilizados priorizam as mínimas distâncias árvore-pátio, e tanto a literatura como o conhecimento do engenheiro florestal da área priorizam distâncias de arraste em média de 250 m.



Braz e Oliveira (2001) relataram que uma distância viável para o arraste da árvore pode ser estabelecida entre 150 m a 200 m, podendo ser no máximo de 400 m, isto é, para não comprometer a operação de arraste realizada pela máquina florestal (*Skidder*), aumentando os custos da operação.

Caso a restrição de distância fosse mais limitante do que a restrição de volume máximo seria necessária a alocação de um número maior de pátios de estocagem para viabilizar o modelo. Para área de estudo, na utilização do modelo B apenas 8,9% das árvores possuíam distâncias maiores que 250 m (restrição do modelo). Nas três áreas estudadas as árvores que ultrapassaram o valor de distância de arraste acima dos 350 m estavam localizados em áreas limítrofes da própria UPA e de áreas de Preservação Permanente, logisticamente sendo inviável a abertura de estradas e pátios nessa área (Figura 18).



**Figura 18.** Utilização de pátios de estocagem próximo a Áreas de Preservação Permanente e limite de Unidades de Trabalho.

Levando em consideração o somatório dos deslocamentos das distâncias árvore-pátio, o Modelo A reduziu em 2.423,6 km enquanto que o Modelo B aumentou em 177.184,3 km em relação ao valor apresentado no manejo florestal da empresa. O Modelo A utilizou o mesmo quantitativo de pátios do executado pela empresa, mas a redução dos deslocamentos foi devido ao modelo priorizar as menores distâncias de arraste. Entretanto, o Modelo B reduziu em 24,3% o quantitativo de pátios em relação ao executado pela empresa, buscando utilizar a máxima capacidade volumétrica (300m<sup>3</sup>), logo foi necessário um deslocamento maior das árvores até os pátios de estocagem propostos, consequentemente aumentando a distância total percorrida.

Como o custo do arraste é o mais oneroso, a adoção de um novo pátio reduz distância dos deslocamentos e favorece a diminuição da função objetivo. Isaac Júnior (2014) salientou que quanto mais pátios estiverem disponíveis para o armazenamento de toras o resultado será a redução dos custos de deslocamento árvore/pátio. No entanto, de acordo com Silva (2015) a abertura de pátios pode também influenciar na abertura de mais estradas e trilhas florestais. O aumento na abertura de mais estradas deve ser interpretado com devido cuidado. O primeiro fato a ser analisado é que construir infraestrutura de estrada é mais oneroso e tem maior custo que construir trilhas de arraste, pois exige um determinado padrão e qualidade.

De toda forma, no planejamento da operação, não se pode levar em consideração apenas a distância euclidiana, pois na prática de campo, as toras não seriam extraídas em linha reta devido a obstáculos encontrados no campo durante o arraste. Além disso, quando uma árvore é extraída, as trilhas podem ser utilizadas para extrair outras árvores, ocorrendo na prática a sobreposição das trilhas de arraste, minimizando o impacto sobre o solo, a vegetação e os recursos hídricos (Figura 19). Assim, mesmo que não seja utilizado um modelo de otimização, isso não exclui a necessidade de planejar as trilhas e estradas.



**Figura 19.** Skidder arrastando mais de uma árvore utilizando uma única trilha na atividade de extração, na UPA 17.

No estudo de Silva et al. (2018b) no estado do Acre foi feita uma comparação entre os resultados do planejamento feito de forma otimizada e o planejamento tradicional, obtendo uma redução na construção de infraestrutura de estradas florestais, pátios de estocagem de madeira e pista de arraste, concluindo ser vantajosa a utilização de modelos de otimização no planejamento. Resultados semelhantes que corroboram a eficiência de um planejamento exploratório otimizado foram encontrados nas pesquisas de e Silva et al. (2018c) no estado do Acre, Sales et al. (2019); Silva et al (2020) no estado do Pará e Philippart et al. (2012) em Camarões (África).

Vale ressaltar que o tempo de execução dos modelos utilizados nesse estudo mudou em função do quantitativo de variáveis e informações fornecidas, variando entre 20 min e 4 dias.

#### **4. CONCLUSÃO**

- O Modelo A reduziu 52% o somatório de deslocamentos árvore-pátio (trilhas de arraste), enquanto que o Modelo B reduziu em 27,3% a abertura de pátios de estocagem e conseqüentemente minimizou os impactos a floresta em 5,31 ha. Tanto o Modelo A quanto o B priorizaram caminhos de menor dano acumulado.
- O menor deslocamento das máquinas dentro da UPA foi possível, quando se aplicou os modelos matemáticos desenvolvidos no presente estudo. Sua utilização pode reduzir ainda mais os impactos sobre a floresta remanescente, custos e tempo no deslocamento árvore-pátio de estocagem.
- Os modelos matemáticos propostos, em programação linear inteira mista, mostraram ser capazes de dar respostas ao problema em questão, sendo possível determinar o quantitativo de pátios de estocagem a serem construídos para cada UT na UPA. Além disso, o tempo de processamento é tanto maior quanto maior for a dimensão dos dados.
- A solução encontrada pelos modelos teve embasamento científico, deixando de lado a forma empírica e intuitiva como esse planejamento é tratado atualmente na empresa. Uma combinação das duas abordagens seria muito benéfica para agilizar os procedimentos no planejamento do manejo florestal.

## **5. RECOMENDAÇÕES**

Recomenda-se que, outros cenários sejam analisados com diferentes restrições e acrescentando informações de abertura de estradas, mapeamento de trilhas de arraste e avaliação de custos.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÂNTARA, D. P. M. **Utilização dos critérios de otimização para a tomada de decisão na quantidade e tamanho de pátios para estocagem das toras em um manejo florestal sustentável em uma floresta nativa no Paraguai.** Trabalho de conclusão de curso. UFPR. Curitiba. 2022. 47p.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**. v. 22, n. 6, dez. 2013. Schweizerbart, 711-728 p. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Acesso em: 08 mar. 2022.

BASKENT, E. Z.; KELES, S. Spatial forest planning: A review. **Ecological Modelling**. v.188, n. 2-4, p. 145-173. 2005.

BRAZ, E. M.; D'OLIVEIRA, M. V. N. Planejamento da extração madeireira dentro de critérios econômicos e ambientais. **Embrapa**. Rio Branco, p. 17. 2001. (0100-9915).

BROZA, K. T.; GARRASTAZU, M. C.; BRAZ, E. M.; MATTOS, P. P.; ROSOT, M. A. D. Etapas do planejamento do projeto MODEFLORA em SIG livre. Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal. Curitiba: **FUPEF**. 2012.

CONDÉ, T. M.; TONINI, H. Fitossociologia de uma Floresta Ombrófila Densa na Amazônia Setentrional, Roraima, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 43, p. 247-260, 2013.

CONTRERAS, M.; CHUNG, W. computer approach to finding an optimal log landing location and analyzing influencing factors for ground-based timber harvesting. **Canadian Journal of Forest Research**, v.37, no. 2, 276–292. 2007.

FERNANDES, D. R. M.; ROCHA, C.; ALOISE, D; RIBEIRO, G.M.; SANTOS, E. M; SILVA, A. 2014. A simple and effective genetic algorithm for the two-stage capacitated facility location problem. **Comput. Ind. Eng.** 75, 200–208.

GAMA, J.R.V.; BENTES-GAMA, M.M.; SCOLFORO, J.R.S. Manejo sustentado para floresta de várzea na Amazônia oriental. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.5, p.719-729, 2005.

GUASTAROBA, G., SPERANZA, M.G., 2014. A heuristic for BILP problems: the single source capacitated facility location problem. **Eur. J. Oper. Res.** 238, 438–450.

GUIMARÃES, A. M.; LAGES, N.A.C. Algoritmos e Estruturas de Dados. Rio de Janeiro, LTC, 1994.

HO, S.C., 2015. An iterated tabu search heuristic for the single source capacitated facility location problem. **Appl. Soft Comput.** 27, 169–178.



HIGUCHI, N. Utilização e manejo dos recursos madeireiros das florestas tropicais úmidas. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 24, n. 3-4, p. 275-288, 1994.

ISAAC JÚNIOR, M. A. et al. **Alocação de pátios de armazenamento de madeira em um plano de manejo florestal na Amazônia ocidental**. XLVI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. Salvador, BA: [s.n.]. 2014.

LIU, K.; SESSIONS, J. Preliminary planning of road systems using digital terrain models. **Journal of Forest Engineering**, v.4, p. 27-32, 1993.

NEWNHAM, R; ROADPLAN, M: Uma ferramenta para projetar redes de estradas florestais. **Int. J. For. Eng.** 1995, 6, 17–26.

ODUM, E. P.; Barret, G. W. 2007. **Fundamentos da ecologia**. São Paulo: Thompson Learning, 612pp.

PHILIPPART, J.; SUN, M.; DOUCET, J.; LEJEUNE, P. Mathematical formulation and exact solution for landing location problem in tropical forest selective logging, a case study in Southeast Cameroon. **J. For. Econ.** 18, 113–122. 2012.

PINTO, A. C. M. et al. Análise de danos de colheita de madeira em floresta tropical úmida sob regime de manejo florestal sustentado na Amazônia Ocidental. **Revista árvore**, v; 26 (4), p. 459-466, 2002.

SALES, A., GONZÁLEZ, D. G. E.; MARTINS, T. G. V.; SILVA, G. C. C.; SPLETOZER, A. G.; TELLES, L. A. de A.; SIVIEIRO, M. A.; LORENZON, A. S. 2019. Optimization of Skid Trails and Log Yards on the Amazon Forest. **Forests** 10, 252.

SECRETARIA MUNICIPAL DE CULTURAL, ESPORTE, LAZER E TURISMO. **Levantamento da Oferta Turística do Município de Portel**. Portel/PA. 2012.

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE- SEMMA. Plano Municipal de Meio Ambiente. Pacaja. Março, 2017, Disponível em: <http://pacaja.pa.gov.br/portal-da-transparencia/estruturaorganizacional/secretaria-municipal-de-meio-ambiente/> acessado em: 21 de fevereiro de 2022.

SILVA, E. F. **Alocação de pátios de estocagem em Planos De Manejo na Amazônia por meio de Programação Matemática**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo. 83 p. 2015.

SILVA, P. H. DA; GOMIDE, L. R.; FIGUEIREDO, E. O.; CARVALHO, L. M. T. DE ; FERRAZ-FILHO, A. C. Optimal selective logging regime and log landing location models: a case study in the Amazon forest. **Acta Amazonica**, v. 48, p. 18-27, 2018a.

SILVA, E. F.; SILVA, G. F.; FIGUEIREDO, E. O.; BINOTI, D. H. B.; MENDONÇA, R. D. A.; TORRES, C. M. M. E.; PEZZOPANE, J. E. M., Allocation of Storage Yards in Management Plans in the Amazon by Means of Mathematical Programming. **Forests** 9, 127. 2018b.

SILVA, P. H.; GOMIDE, L. R.; FIGUEIRE, E. O.; CARVALHO, L. M. T.; FERRAZ-FILHO, A. C. Optimal selective logging regime and log landing location models: a case study in the Amazon forest. **Acta Amazonica** 48, 18–27. 2018c.

SILVA, E. F. **Planejamento da exploração em florestas nativas manejadas da Amazônia por meio de pesquisa operacional**. Tese de Doutorado - Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, ES, 108 f. 2019.

Tese de Doutorado - Universidade de Brasília - UNB, DF, p.190. 2014.

SILVA, E. F.; SILVA, G. F.; FIGUEIREDO, E. O. MENDONÇA, A. R.; SANTANA, C. J. O.; FIEDLER, N. C.; SILVA, J. P. M.; AGUIAR, M. O.; SANTOS, J. S. Optimized forest planning: allocation of log storage yards in the Amazonian sustainable forest management area. **Forest Ecology and Management**. v. 472. 2020.

STEFANELLO, F.; DE ARAÚJO, O. C. B.; MÜLLER, F. M. 2015. Matheuristics for the capacitated p-median problem. **Int. Trans. Oper. Res.** 22, 149–167.

YAGHINI, M.; KARIMI, M.; RAHBAR, M. A hybrid metaheuristic approach for the capacitated p-median problem. **Appl. Soft Comput.** 13, 3922–3930. 2013.