



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

EVANDRO FERREIRA DA SILVA

**PLANEJAMENTO DA EXPLORAÇÃO EM FLORESTAS NATIVAS
MANEJADAS DA AMAZÔNIA POR MEIO DE PESQUISA OPERACIONAL**

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2019

EVANDRO FERREIRA DA SILVA

**PLANEJAMENTO DA EXPLORAÇÃO EM FLORESTAS NATIVAS
MANEJADAS DA AMAZÔNIA POR MEIO DE PESQUISA OPERACIONAL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais. Orientador: Dr. Gilson Fernandes da Silva.

Coorientador: Evandro Orfanó Figueiredo.

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2019

**PLANEJAMENTO DA EXPLORAÇÃO EM FLORESTAS NATIVAS
MANEJADAS DA AMAZÔNIA POR MEIO DE PESQUISA OPERACIONAL**

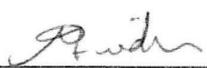
Evandro Ferreira da Silva

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

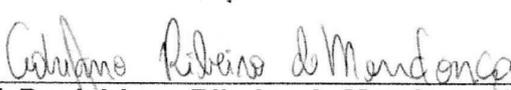
Aprovada em 16 de Setembro de 2019.



Dr. Cesar Junio de Oliveira Santana (Examinador externo)
Remsolf



Prof. Dr. Nilton Cesar Fiedler (Examinador interno)
Universidade Federal do Espírito Santo



Prof. Dr. Adriano Ribeiro de Mendonça (Examinador interno)
Universidade Federal do Espírito Santo



Dr. Evandro Orfanó Figueiredo (Coorientador)
Embrapa



Prof. Dr. Gilson Fernandes da Silva (Orientador)
Universidade Federal do Espírito Santo

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de
Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

S586p Silva, Evandro Ferreira da, 1990-
Planejamento da exploração em florestas nativas manejadas da
Amazônia por meio de pesquisa operacional / Evandro Ferreira
da Silva. - 2019. 108 f. : il.

Orientador: Gilson Fernandes da Silva.

Coorientador: Evandro Orfanó Figueiredo.

Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade
Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e
Engenharias.

1. Manejo florestal sustentável. 2. Manejo florestal de
precisão. 3. Coeficiente de produção. 4. Custos do manejo
florestal. 5. Pesquisa operacional. I. Silva, Gilson Fernandes da.
II. Figueiredo, Evandro Orfanó. III. Universidade Federal do
Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. IV.
Título.

CDU: 630*38

Dedico

A Deus, seu fôlego de vida em mim foi meu sustento na caminhada.
A minha família, fonte de amor, incentivo e fortaleza.
A quem amo, que sempre me faz crescer, evoluir e ter a certeza que nunca
estarei só.

AGRADECIMENTOS

Os agradecimentos deveriam ter mais páginas que a própria pesquisa, mas como não é possível...

Agradeço a DEUS, força maior de todas as ações que há neste mundo, pois se não fosse a sua vontade, jamais teria completado mais um desafio em minha caminhada.

Aos meus pais, Maria de Nazaré da Silva e Aldir Ferreira da Silva, fonte de tudo aquilo que sou, fonte da minha essência, responsáveis pelos ensinamentos, pelos conselhos, pelo exemplo...Por tudo, OBRIGADO!!!.

Aos meus irmãos Antônio Carlos, Evaldo Ferreira, Valdir Ferreira e Valdirene Ferreira que sempre me apoiaram e sempre serão exemplos para mim. Além do amor e da certeza que vocês têm de que tudo sempre vai dar certo.

Aos amigos da família, que mesmo distantes, sempre em cada palavra me motivaram e torceram, meu muito obrigado.

Não poderia esquecer dos amigos da graduação, que sempre estiveram a par da minha caminhada e torcendo sempre.

Ao meu orientador Gilson Fernandes, pelo seu comprometimento, pela paciência e pelo exemplo de profissional. Pode não parecer em função da teimosia, mas aprendi muito durante esses anos.

Ao professor Adriano Mendonça pela simplicidade, compromisso e amizade durante esses anos.

Ao meu coorientador Evandro Orfanó Figueiredo por aceitar esse desafio, me apoiar e pelos ensinamentos.

Aos componentes da banca Dr Cesar Santana e Dr. Nilton Fiedler pela prontidão em participar da banca e pelas sugestões.

À Universidade Federal do Espírito Santo, principalmente, a equipe do Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, pela conduta e acolhimento.

À FAPES pela disponibilidade de 12 meses de bolsa de pesquisa.

À EBATA Produtos Florestais LTDA, na figura dos seus sócios, que disponibilizaram toda a estrutura necessária para a condução da minha

pesquisa e em especial a toda a equipe do manejo florestal, principalmente ao Denys, Herison e Mauricio

Aos irmãos de república, Ronie, Giovanni, Felipe e Jeangelis, obrigado pelo apoio.

A todos os irmãos de Laboratório da UFES, pela convivência fantástica. Em especial, à família LamFlor, que sejamos sempre um só.

Ao clã, Giovanni, Luandson, Jeangelis, Jeferson, Anny, Iza, Marcinha e Taíse. Vocês são melhores que dor de dente.

À Luciana, que me acolheu e, literalmente, me fez da família, obrigado.

A todos os irmãos que fiz na UFES, são muitos os nomes e tenho receio de que esquecerei algum aqui, então sintam-se lembrados.

Enfim, a todos que acreditaram ou não, a quem me ajudou ou me deixou mais forte, a todos que contribuíram direta ou indiretamente. Foi um prazer engrandecedor ter a oportunidade de viver parte da minha vida na presença de todos.

Agradeço.

I Have a Dream
Martin Luther King Jr.

RESUMO GERAL

SILVA, Evandro Ferreira da, **Planejamento da exploração em florestas nativas manejadas da Amazônia por meio de pesquisa operacional**. 2019. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientador: Prof. Dr. Gilson Fernandes da Silva. Coorientador: Evandro Orfanó Figueiredo.

Um dos lapsos das técnicas de Manejo Florestal Sustentável (MFS) está atrelado ao desenvolvimento de novas tecnologias, que tenham como metas minimizar os impactos ambientais e os custos da exploração florestal, o que sinaliza a necessidade de melhoria do planejamento florestal tradicional. Nesse contexto, a pesquisa propõe um planejamento florestal alternativo com o objetivo de otimizar a alocação de pátios de estocagem de madeira. E, assim, diminuir custos da exploração, de modo a aperfeiçoar o planejamento florestal tradicionalmente utilizado na exploração de florestas nativas na Amazônia. O estudo foi dividido em dois capítulos, sendo o primeiro com o objetivo de estruturar e analisar os coeficientes de produção das atividades florestais e dos custos médios da produção de madeira em tora em uma área de MFS. O segundo capítulo tem como objetivo avaliar a eficiência e eventuais ganhos da execução de um planejamento otimizado de alocação de pátios de estocagem, em comparação com a execução de um planejamento tradicional frequentemente utilizado pelas empresas florestais na região amazônica. A área de estudo do primeiro capítulo foi a Floresta Nacional (FLONA) Saracá-Taquera, localizada nos municípios de Faro, Oriximiná e Terra Santa, Unidade de Manejo Florestal II (UMF-II), Unidade de Produção Anual de 2017 (UPA/2017). As informações dos coeficientes de produção e custos foram obtidas por meio de entrevistas realizadas com a equipe técnica responsável, arquivos de controle de compra e de produção, e informações colhidas em campo, sendo coletadas entre agosto e setembro de 2017. Com base nos dados, foi observado que os coeficientes de produção estimaram com acurácia o tempo investido nas atividades florestais, com diferença média de 0,015% no custo total da exploração florestal quando comparado o tempo relatado pela a equipe técnica. O arraste de toras de madeira e a abertura de estradas e de pátios de estocagem são as atividades de maior custo da exploração florestal

e os equipamentos utilizados (veículos, tratores e motosserra) representam mais de 75% dos custos das atividades. O maior custo de produção de madeira na área de concessão é o pagamento da madeira ao Serviço Florestal Brasileiro (SFB), representando mais de 63% do custo total. A área de estudo do segundo capítulo foi a FLONA Saracá-Taquera, UMF-1A, UPA/2017, Unidade de Trabalho 02 (UT-02). Ao comparar, duas áreas similares, uma explorada com um planejamento florestal tradicional (PFT) e outra explorada com um planejamento florestal otimizado (PFO) de alocação de pátios de estocagem de madeira, foi observado que ao se levar em consideração apenas o planejamento, o PFO proporcionou uma redução significativa da distância euclidiana de ligação árvore-pátio, sem grande variação na quantidade planejada de estradas florestais quando comparado ao PFT. O PFO teve maior produtividade (árv.h^{-1} e $\text{m}^3.\text{h}^{-1}$) quando comparado ao PFT. A distância média de arraste foi reduzida em 17,16% e o custo do m^3 arrastado em 25,76% com o PFO.

Palavras chave: Manejo Florestal Sustentável, Manejo Florestal de Precisão, Coeficiente de produção, Custos do Manejo Florestal, Pesquisa Operacional.

GENERAL ABSTRACT

SILVA, Evandro Ferreira da, **Exploration planning in managed Amazonian native forests through operational research**. 2019. Thesis (Doctorate in Forest Sciences) – Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Advisor: Dr. Gilson Fernandes da Silva. Co-advisor: Dr. Evandro Orfanó Figueiredo.

One of the lapses in Sustainable Forest Management (MFS) techniques is linked to the development of new technologies, which aim to minimize environmental impacts and the costs of forest exploitation, which indicates the need to improve traditional forest planning. In this context, the research proposes an alternative forest planning with the objective of optimizing the planning of the allocation of wood storage yards, thus reducing the costs of exploration, in order to improve the forest planning traditionally used in the exploitation of native forests in the Amazon. The second chapter aims to evaluate the efficiency and eventual gains of the execution of an optimized planning for the allocation of wood storage yards, compared to the execution of a traditional planning often used by forest companies in the Amazon region. The study area of the first chapter was the Saracá-Taquera National Forest (NAFO), located in the municipalities of Faro, Oriximiná and Terra Santa, Forest Management Unit II (FMU-II), 2017 Annual Production Unit (APU / 2017). Control and cost information were conducted through interviews with the responsible technical team, purchase and production control files, and information gathered in the field between August and September 2017. Based on the data, it was observed that the production coefficients accurately estimated the time invested in forest activities, with an average difference of 0.015% in the total cost of forest exploitation when compared to the time reported by the technical team. Logging and the opening of roads and stockyards are the most costly activities of logging and the equipment used, vehicles, tractors and chainsaw, represent more than 75% of the costs of the activities. Finally, the largest cost of wood production in the concession area is the payment of wood to the Brazilian Forest Service (SFB), representing over 63% of the total cost. the area of study of the second chapter was at NAFO Saracá-Taquera, FMU-1A, APU / 2017, Unit of Work 02 (UW-02). By comparing

two similar areas, one explored with traditional forest planning (TFP) and the other explored with optimized forest planning (OFP) for the allocation of log yards. It was observed that by taking into account planning alone, the OFP provided a significant reduction in the Euclidean distance tree-yard link, with no large variation in the planned amount of forest roads when compared to the TFP. The average drag distance was reduced by 17.16% and the cost of m³ dragged by 25.76% with OFP.

Keywords: Sustainable Forest Management, Precision Forest Management, Production Coefficient, Forest Management Costs, Forest Concession.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	HIPÓTESE	17
3	OBJETIVOS	18
3.1	OBJETIVO GERAL	18
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
4	REVISÃO DE LITERATURA	19
4.1	ATUAL CONTEXTO DO MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL PARA A PRODUÇÃO DE MADEIRA NA AMAZÔNIA BRASILEIRA	19
4.1.1	Planejamento da exploração florestal	21
4.1.2	Manejo florestal de precisão	26
4.1.3	Exploração de impacto reduzido na Amazônia (EIR)	30
4.2	PESQUISA OPERACIONAL APLICADA AO MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL NA AMAZÔNIA	32
4.2.1	Modelo de localização-alocação	34
5	REFERÊNCIAS	38
6	CAPÍTULO 1 – COEFICIENTES DE PRODUÇÃO E CUSTOS DAS ATIVIDADES FLORESTAIS EM UMA ÁREA DE MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL NA AMAZÔNIA OCIDENTAL	48
6.1	INTRODUÇÃO	50
6.2	MATERIAL E MÉTODOS	52
6.2.1	Obtenção de dados	52
6.2.2	Etapas metodológicas	52
6.2.3	Descrição da área de estudo e do pacote tecnológico de exploração	53
6.2.4	Coeficientes de produção das atividades florestais	56
6.2.5	Estrutura dos custos de produção	58
6.2.6	Análise de dados	59
6.3	RESULTADOS	60
6.3.1	Coeficientes de produção das atividades florestais	60
6.3.2	Estrutura dos custos de produção em função do tempo de atividade relatado na entrevista com a equipe técnica	61

6.3.3	Estrutura dos custos de produção em função do tempo de atividade estimado pelos coeficientes de produtividade	65
6.4	DISCUSSÃO	69
6.4.1	Coeficientes de produção das atividades florestais	69
6.4.2	Estrutura dos custos de produção em função do tempo de atividade relatado na entrevista com a equipe técnica e coeficientes de produção das atividades florestais	72
6.5	CONCLUSÃO	76
6.6	REFERÊNCIAS	77
7	CAPÍTULO 2 – PLANEJAMENTO OTIMIZADO DE ALOCAÇÃO DE PÁTIOS DE ESTOCAGEM DE MADEIRA EM ÁREA DE MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL NA AMAZÔNIA	80
7.1	INTRODUÇÃO	82
7.2	MATERIAL E MÉTODOS	84
7.2.1	Etapas metodológicas	84
7.2.2	Item 1 do fluxograma: Descrição da área de estudo	85
7.2.3	Item 2a do fluxograma: Definição e execução do PFT	87
7.2.4	Item 2b do fluxograma: Definição e execução do PFO	88
7.2.5	Item 3 do fluxograma: Análise dos resultados obtidos	91
7.3	RESULTADOS	93
7.3.1	Comparação entre PFT e PFO na área em que o PFO foi implementado	94
7.3.2	Comparação entre PFO e PFT na área em que o PFT foi implementado	95
7.3.3	Comparação em termos de execução entre o PFO e o PFT	95
7.4	DISCUSSÃO	98
7.4.1	Comparação entre o PFT e PFO nas áreas 1 e 2	98
7.4.2	Comparação entre o PFO e o PFT na execução da exploração	99
7.5	CONCLUSÃO	102
7.6	REFERÊNCIAS	103

1 INTRODUÇÃO

O manejo de florestas nativas para a produção de madeira necessita de um planejamento meticuloso das atividades que serão desenvolvidas, tendo em vista que essas atividades apresentam grande potencial de causar perturbações aos ecossistemas florestais, e serem de custos elevados. Assim, uma estratégia inteligente para a execução dessas atividades pode trazer ganhos significativos, seja por garantir a sustentabilidade dos ecossistemas explorados, bem como por oferecer ao investidor florestal maiores chances de sucesso econômico.

Nesse sentido, para um planejamento florestal eficiente, é crucial ter acesso a uma gama de informações sobre a área a ser manejada e ferramentas de suporte que facilitem as tomadas de decisão de forma mais assertivas e em menor tempo (MACHADO; LOPES, 2014).

A discussão a respeito de um planejamento eficiente por meio do manejo de florestas tropicais de forma sustentável no cenário mundial teve um impulso importante em meados da década de 90, tendo como um dos temas centrais naquela época conhecer a dinâmica da floresta com vistas a propor alternativas de manejo para minimizar o impacto ambiental. Para isso, é necessário possuir o mínimo de conhecimento a respeito das atividades a serem desenvolvidas (BOLTZ; HOLMES; CARTER, 2003; HOLMES et al., 2002).

O Manejo Florestal Sustentável (MFS) é definido como o conjunto de procedimentos que viabilizam a utilização dos recursos florestais madeireiros e não madeireiros (HOSOKAWA; MOURA; CUNHA, 1998; ROTTA; MICOL; SANTOS, 2006) resultando em benefícios sociais, econômicos e ambientais (TIMOFEICZYK JÚNIOR et al., 2005). E dessa forma, propiciando a redução de resíduos, aumento de produtividade, menor impacto à floresta remanescente, além de assegurar maior segurança de trabalho (AMARAL et al., 1998).

O planejamento da exploração com técnicas de impacto reduzido tem sido considerado uma ferramenta importante na redução das taxas de desmatamento em muitas áreas de floresta tropical no Brasil (DARRIGO; VENTICINQUE; SANTOS, 2016; PUTZ et al., 2012; SCHWARTZ et al., 2012). Por outro lado, há a necessidade de pesquisas mais aprofundadas relacionadas às técnicas de exploração, à dinâmica florestal, ao potencial madeireiro e à redução de custos

da exploração, bem como à adoção dessas novas tecnologias como chave para a sustentabilidade do manejo em florestas nativas (SILVA et al., 2018a).

Uma linha de planejamento empregada em florestas tropicais nativas considera a possibilidade de utilizar ferramentas como: georreferenciamento, geoprocessamento, pesquisa operacional (PO) e tecnologias destinadas à coleta de dados mais precisos. Este tipo de metodologia vem sendo denominado de manejo florestal de precisão (FIGUEIREDO; LIMA, 2008), o qual busca estruturar a utilização de tecnologias convergentes, de modo que cada uma desempenhe um papel essencial no planejamento (MACHADO; LOPES, 2014). Dentre as ferramentas citadas, a PO tem sido utilizada com êxito para melhorar o planejamento das operações e o gerenciamento das atividades da exploração florestal em florestas nativas da Amazônia: Gomide; Moura; Mello (2011); Leite (2017); Martinhago (2012); Silva et al. (2018a, 2018b) utilizaram PO para estudar a localização ótima de pátios de estocagem no planejamento florestal.

Lima et al. (2011) determinaram a localização ótima para formação de pilhas de madeira; Malinovski et al. (2008) criaram uma ferramenta tecnológica capaz de calcular e otimizar a distância média de extração; Contreras; Chung (2007) construíram um modelo computadorizado para desembarque de madeira e Baskent; Keles (2005), Fotakis (2015), Mathey et al. (2007) e Pukkala; Heinonen (2006) trabalharam com o planejamento espacial no manejo de florestas.

Por outro lado, este é um tema de pesquisa ainda incipiente, especialmente quando se trata da produção de madeira na região amazônica, não sendo demais enfatizar que a maior parte da madeira produzida no Brasil ainda é oriunda desta região. A esse respeito, cabe destacar que a produção científica no Brasil, no que tange à produção de madeira, está concentrada nas florestas plantadas, especialmente as de Pinus e de Eucalipto. Com isso, existe muita informação científica e técnica sobre o processo de produção de madeira dessas espécies em relação, por exemplo, a produção de madeira na região amazônica. Algumas justificativas, neste caso, podem ser: a ocorrência de exploração ilegal de madeira especialmente na região amazônica, o que desestimula uma produção organizada; a falta de um mercado organizado; a falta de políticas públicas mais claras; e, entre outras coisas, o fato de que o

ambiente florestal nativo amazônico é certamente mais complexo e tem desafios maiores do que manejar florestas plantadas.

Considerando as dificuldades expostas para se produzir madeira na região amazônica de forma sustentável e economicamente viável, qualquer esforço que leve a um ganho estratégico no processo produtivo, é benéfica para o processo da exploração florestal.

2 HIPÓTESE

A hipótese a ser analisada neste trabalho é:

1. H₁: A alternativa de planejamento proposta neste trabalho, com base nas ferramentas de sistema de informação geográfica (SIG) e pesquisa operacional (PO), auxiliará o gestor florestal na tomada de decisão referente ao planejamento da exploração florestal, sendo mais eficiente que outras metodologias tradicionalmente empregadas, especialmente no aumento da produtividade da extração, na diminuição de custos e na implementação de tecnologias de planejamento florestal.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Propor alternativas de planejamento da infraestrutura em áreas de MFS na Amazônia por meio de SIG e PO.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Propor e implementar um modelo de planejamento de exploração para uma área de MFS;
- Comparar a execução em campo com planejamento tradicionalmente empregado pelo gestor florestal; e
- Analisar a viabilidade técnica e econômica dos planejamentos propostos.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 ATUAL CONTEXTO DO MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL PARA A PRODUÇÃO DE MADEIRA NA AMAZÔNIA BRASILEIRA

A Amazônia tem aproximadamente 5 milhões de km² (FREITAS; FREITAS; HUMMEL, 2005) e o Brasil é um dos principais produtores de madeira tropical do mundo, competindo diretamente com a Indonésia, Índia e Malásia (OIMT, 2016). Gerenciar essa quantidade de recurso floresta objetivando a produção de bens de forma sustentável e manutenção dos ecossistemas passa a ser considerado um desafio (SFB, 2013).

A floresta amazônica teve suas áreas devastadas até meados da década de 90 por meio de técnicas de exploração não fundamentadas na conservação florestal. No entanto, esse cenário mudou consideravelmente com a implementação de técnicas que melhoram a produção e reduzem os impactos durante a exploração. Porém, ainda é uma parcela pequena de áreas exploradas que levam em consideração um planejamento sustentável em sua totalidade com base no MFS (EMMERT, 2014).

O SFB (2013) define o MFS como a forma de gerenciar a floresta com o intuito de obter benefícios simultâneos nas áreas econômicas, sociais e ambientais. Isso, sem infringir os fluxos de sustentação do meio do qual se maneja, realizando o beneficiamento de diversos produtos e subprodutos, bem como serviços. Pelo fato de o Brasil possuir grandes áreas contínuas de florestas com grandes potencialidades de utilização dos recursos, foram definidas regras de manejo dos recursos florestais, que têm como objetivo a conservação e uso racional dos recursos florestais, por meio da formulação de uma série de medidas, normas e regulamentos.

Dessa forma, o MFS em florestas amazônicas do Brasil tem sua execução tecnicamente normatizada pela Norma de Execução n.º 1 do IBAMA, de 24 de abril de 2007, que institui as Diretrizes Técnicas para Elaboração do Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS) (IBAMA, 2007), que trata a Lei Federal 12.651, de 25 de maio de 2012. Esta, institui o novo código florestal (BRASIL, 2012), podendo ser mais restritiva que a legislação federal, em função da legislação específica de cada estado e município.

O MFS apresenta-se como sendo a alternativa mais viável para a utilização do recurso florestal na Amazônia brasileira, pois resulta na geração de renda e na diminuição de impactos ambientais das atividades, sendo estas direcionadas para que não ocorra maiores danos à floresta. Além disso, o MFS se mostra como a alternativa mais viável frente às demais opções, como por exemplo, a não utilização de técnicas para a exploração ou conversão das áreas em pastagem (BRAZ, 2010; FIGUEIREDO, 2014).

A exploração de produtos e serviços em florestas tropicais de elevada biodiversidade é uma tarefa complexa, pelo fato das inúmeras interações que ocorrem no ecossistema. Para Vidal, West e Putz (2016), o MFS aumenta o valor econômico da floresta, promovendo a conservação do ecossistema e também a captação e estoque de carbono.

O Brasil tem uma vantagem competitiva no mercado de madeira tropical, tendo aumentado suas exportações enquanto ocorre a diminuição da produção de madeira na Indonésia e Malásia. Isso denota a importância da manutenção das florestas de forma sustentável e gestão do recurso florestal (SILVA; SILVA; CORDEIRO, 2012).

Com o intuito de conhecer a quantidade de floresta disponível para o MFS, foi que o SFB realizou o cadastro de 311,6 milhões de hectares de florestas públicas no Brasil, cerca de 36,6% do território e 58% das florestas (SFB, 2018). Nos estados do Acre, Rondônia e Pará foram listadas florestas com potencial para se tornarem áreas de concessão florestal, somando cerca de 5,1 milhões de hectares de floresta nativa (SFB, 2013). A potencialidade de produção de madeira em florestas nativas remete à necessidade de inovação tecnológica e gerencial no MFS, bem como a exigência do governo na adoção dessas inovações pelas empresas beneficiadas ou não, com as concessões florestais.

O levantamento dessas áreas de florestas públicas está intrinsecamente ligado à tomada de decisão futura de manejo das mesmas. Inúmeros são os trabalhos que discutem a necessidade de planejamento do futuro das florestas em função da consequência dos impactos ambientais (BRIENEN et al., 2015; HOUGHTON, 2013; LEWIS; EDWARDS; GALBRAITH, 2015; PUTZ; ROMERO, 2014).

Em 2006, o governo brasileiro publicou a Lei de Gestão de Florestas Públicas (LGFP) (Lei Federal 11.284, de 02/03/2006), a qual, basicamente,

regula a gestão das florestas brasileiras para fomentar uma produção sustentável. Em complemento, também foram criados o Serviço Florestal Brasileiro (SFB) e o Fundo Nacional de Desenvolvimento Florestal (FNDF) (BRASIL, 2006a).

Os principais objetivos da lei foram: gerir o uso dos recursos florestais de forma não predatória, evitar a apropriação ilegal de áreas pertencentes à sociedade e evitar o desmatamento e uso do solo em atividades não autorizadas. Foram definidos três modelos de gestão: a definição de florestas nacionais, estaduais e municipais, de acordo com o Sistema Nacional de Conservação da Natureza (SNUC); a destinação de florestas públicas às comunidades locais e a concessão de florestas públicas (ESPADA et al., 2016).

O modelo de concessão florestal objetivou mudar preceitos de produção exclusiva de madeira nas florestas amazônicas e a exploração predatória. Esse modelo de gestão outorga florestas públicas para iniciativas privadas por meio de retornos financeiros e responsabilidades legais (ESPADA et al., 2016). Assim, o outorgado passa a poder manejar a floresta para obtenção de madeira, resíduos florestais, produtos não madeireiros, serviços ambientais e demais atividades que estejam amparadas em lei, repassando parte do lucro ao governo. O Plano Anual de Outorga Florestal (PAOF), de 2020, relata que tem 3,8 milhões de hectares as florestas federais passíveis de concessão e 1,02 milhões de hectares sob regime de concessão florestal (SFB, 2019).

4.1.1 Planejamento da exploração florestal

A exploração de matéria-prima em florestas tropicais é complexa e a ciência ainda não é capaz de responder a muitos questionamentos a respeito do conhecimento do ecossistema florestal.

Para melhor entender as atividades que compõem o MFS é necessário, a priori, definir alguns conceitos para os termos utilizados, e saber como esses conceitos interagem em função das atividades florestais (Quadro 1).

Quadro 1: Conceitos do manejo de florestas e suas características.

Conceito	Características
Exploração convencional (EC)	Exploração sem planejamento das atividades , tal como inventário 100%, planejamento da infraestrutura e de trilhas de arraste, etc. Com mão-de-obra não qualificada, equipamentos e máquinas inapropriadas ao trabalho.
Exploração planejada (EP)	Mais planejamentos eficientes da exploração para maximizar a produtividade e reduzir desperdícios.
Exploração de impacto reduzido (EIR)	+ Mais atividades para diminuir danos à vegetação remanescente, considerando-se as opções da próxima exploração.
Manejo florestal (MF)	+ Mais atividades pós-exploração , como tratamentos silviculturais para estimular o desenvolvimento florestal e providências para a proteção da área.
Manejo florestal sustentável (MFS)	+ Mais atividades que garantem a disponibilidade dos serviços florestais econômicos, sociais e ambientais para as próximas gerações.
Plano de manejo florestal sustentável (PMFS)	Plano de manejo aprovado pelo IBAMA ou órgão competente conforme a legislação vigente.
Manejo certificado (MC)	Certificação da produção (selo verde) da empresa por cumprir as normas legais, manejar a floresta de forma contínua e cumprir as normas trabalhistas.

Fonte: adaptado de Sabogal et al. (2006).

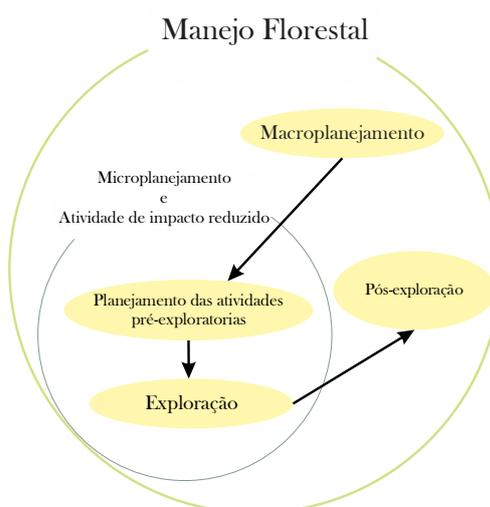
Dessa forma, existe uma diferença que deve ser definida sempre que necessário, pois o MFS difere do MF quando busca não somente uma exploração com atividades planejadas em campo durante a extração da matéria prima, mas também a disponibilidade dos serviços prestados pela floresta, promovendo um impacto econômico positivo e perpetuação da floresta para as próximas gerações (SABOGAL et al., 2006).

O MFS, então, pode ser tido como a união do conjunto de atividades necessárias a serem realizadas e planejadas antes, durante e após a exploração da floresta, utilizando técnicas de EIR. Essas atividades devem garantir a viabilidade econômica, a segurança social e a perpetuação da floresta.

O MFS pode ser dividido em quatro grandes etapas: Macroplanejamento da exploração florestal; Planejamento das atividades pré-exploratórias; Exploração da matéria-prima e Atividades pós-exploratórias (

Figura 1) (BALIEIRO et al., 2010).

Figura 1 – Etapas do Manejo Florestal.



Fonte: adaptado de (BALIEIRO et al., 2010).

De acordo com as etapas mencionadas anteriormente, são destinadas atividades a serem desenvolvidas em cada etapa das atividades pré-exploratória, exploratória e pós-exploratória. Essas apresentadas são detalhadas na sequência (Quadro 2).

Quadro 2: Atividades do manejo florestal.

Atividades	Procedimentos
Pré-exploratórias	Determinação da área de manejo Florestal;
	Planejamento e delimitação da Unidade de Produção Anual (UPA);
	Inventário Florestal Censitário;
	Corte de cipós;
	Locação de parcelas permanentes;
	Processamento de dados;
	Confecção de mapas;
Exploratórias	Planejamento e construção da infraestrutura.
	Localização e sinalização das árvores exploráveis; Abate;

Atividades	Procedimentos
	Sinalização das trilhas de arraste das toras;
	Arraste das toras
	Operação de pátio;
	Operações de transporte.
Pós-exploratórias	Tratamentos silviculturais;
	Inventário contínuo;
	Avaliação de danos;
	Avaliação de desperdício;
	Proteção florestal;
	Manutenção da infraestrutura.

Fonte: adaptado de (FFT, 2002).

A seguir são descritas as atividades do MF com base na publicação do Imazon, intitulada Florestas para sempre: um manual para a produção de madeira na Amazônia (AMARAL et al., 1998) e da Fundação Floresta Tropical intitulada: Manual de procedimentos técnicos para condução de manejo florestal e exploração de impacto reduzido (FFT, 2002).

Atividades pré-exploratória: Com o auxílio de ferramentas de sensoriamento remoto é possível identificar e quantificar a área a ser inventariada. Na área de manejo, é realizado primeiramente o inventário amostral com a finalidade de estimar o potencial volumétrico da floresta e posteriormente o inventário censitário que realiza o levantamento de todas as árvores com potencial econômico. A área delimitada é chamada de Unidade de Manejo florestal (UMF) na qual é realizado o inventário amostral. A UMF pode ser subdividida em áreas de menor tamanho que serão exploradas em um determinado horizonte de tempo ou não haver subdivisão e ser explorada em sua totalidade de uma única vez. A subdivisão em áreas menores ou não da UMF é denominada de Unidade de Produção Anual (UPA). Na UPA é realizado o inventário censitário com todas as informações das árvores de espécies comerciais e características do terreno. Por sua vez a UPA pode ser ou não subdividida em unidades menores denominadas de Unidades de Trabalho (UT) ou Talhão. Essas áreas menores servem para melhorar a organização das atividades de campo, identificar áreas das UPAs que no planejamento não são contínuas. As UTs comumente são formadas por áreas próximas a 100 ha, mas podem ser definidas com áreas maiores.

O planejamento da UPA é de extrema importância, pois define a área a ser explorada e representa o início do planejamento da exploração. O tamanho da UPA está ligado ao dimensionamento das equipes, dos custos e do lucro esperado. Em PMFS é comum que a UPA tenha um formato geométrico bem definido, como quadrado e retângulo, ou com seus limites em função do relevo e/ou malha hidrográfica. É importante ressaltar que a heterogeneidade da floresta não favorece que áreas de igual tamanho tenham volume e renda semelhantes, em função da diversificação das espécies e portes diferenciados.

As empresas de concessões florestais têm obrigação de tornar público seus PMFS, nos quais devem estar descritas as atividades que serão executadas. Dentre essas empresas, a AMATA (2017) descreve a metodologia de alocação de UPA. Para ordenar a área a ser explorada anualmente, foi dividida a área da Unidade de Manejo Florestal (UMF) III de 46.184,253 ha de floresta em 25 UPAs. O PMFS descreve que, quando possível, os limites das UPAs foram delineados de forma a aproveitar as divisões geográficas (vales e rios) e, na ausência dessas estradas já existentes. Cada UPA apresenta área aproximada de 1.800 ha.

A empresa EBATA (2017) também detém área de concessão florestal de MFS. A UMF 1A tem 26.897,97 ha, definido o horizonte de planejamento de 30 anos e descontando 5% da área total como sendo área de reserva absoluta, sendo que cada UPA terá aproximadamente 680,72 ha, e o critério utilizado para delimitação das UPAs em campo são os divisores naturais. Ao contrário da empresa AMATA (2017) que definiu previamente cada UPA.

Os critérios para a definição das UPAs podem variar de acordo com os critérios do tomador de decisão, podendo ser realizado de forma subjetiva, com baixa precisão dos rendimentos esperados. Uma lacuna existente são pesquisas que proponham técnicas voltadas para o planejamento da regulação em áreas de MFS, de forma a garantir a regulação da produção em função das variáveis de interesse (renda, volume de uma determinada classe de indivíduos, dimensionamento do maquinário e da equipe).

Após a definição da UPA são realizados o inventário censitário e o corte de cipós. No inventário censitário, são localizados todos os indivíduos comerciais com diâmetro à 1,30 cm do solo (DAP) maior ou igual a um diâmetro mínimo de corte (DMC) pré-estabelecido e, posteriormente, mensuradas as variáveis

dendrométricas de interesse comercial. O corte de cipós é um procedimento tido como medida de segurança durante o abate. Os cipós de diâmetros maiores podem impedir o tombamento da árvore e promover riscos durante essa atividade. O corte desses cipós geralmente é realizado um ano antes do início das atividades de manejo, durante o inventário censitário, para dar tempo de apodrecer e assim diminuir os riscos durante o abate.

O processamento de dados, confecção de mapas e planejamento da infraestrutura são realizados no escritório, de acordo com o tomador de decisão, atendendo a legislação específica vigente.

Atividades exploratórias: A execução do planejamento em campo é o que define, basicamente, as atividades exploratórias. Por isso, é importante elaborar o melhor planejamento possível, para que na fase de implantação do projeto em campo diminuam-se os impactos ambientais e variações do planejamento em função de adversidades locais encontradas em campo, que forcem uma mudança pontual no planejamento realizado na fase pré-exploratória.

Essa atividade ocorre em uma sequência lógica, com a instalação da infraestrutura de acampamento, o planejamento de estradas e pátios de estocagem, a abertura de estradas florestais e pátios de estocagem, o abate das árvores, o traçamento das árvores, a extração das toras, as atividades de pátio (empilhamento e cadeia de custódia) e o transporte florestal.

Atividades pós-exploratória: Após a exploração da área, a mesma terá que ficar em pousio durante o horizonte de planejamento do projeto, podendo somente ser explorada novamente ao término do ciclo. Durante esse tempo, informações de monitoramento da floresta são obrigatórias, imediatamente e ao longo do ciclo, como tratamentos silviculturais, avaliação de danos, proteção florestal e manutenção da infraestrutura.

4.1.2 Manejo florestal de precisão

A agricultura de precisão é o conjunto de procedimentos e técnicas com o objetivo de otimizar o gerenciamento em campo com suporte de tecnologias

geográficas e de comunicação, para análise nas tomadas de decisão (LÓPEZ-RIQUELME et al., 2017; SADEGH; MOHAMMADZADEH; NASTIS, 2016).

De forma análoga à agricultura de precisão, surgiu o conceito de Manejo Florestal de Precisão (MFP) aplicado a florestas nativas. O MFP pode ser definido como o conjunto de técnicas que possibilitam a melhora da precisão do planejamento das atividades que envolvem o MFS, utilizando ferramentas de geoprocessamento, georreferenciamento, estatísticas, pesquisa operacional e planejamento da gestão. Refere-se, basicamente, à junção dessas ferramentas de forma sinérgica para executar um planejamento mais preciso.

Os trabalhos que envolvem o manejo florestal de precisão na Amazônia Brasileira são escassos. Braz, Carnieri e Arce (2004), aplicando pesquisa operacional, desenvolveram um modelo para auxiliar na regulação da produção em floresta comunitária, buscando de forma inicial, inovações no sentido de melhorar o planejamento do MFS.

Em 2007, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) deu início a pesquisas com a utilização de tecnologias para o planejamento e a exploração de florestas nativas na Amazônia, resultando na metodologia de planejamento e monitoramento de execução das atividades florestais em áreas de MFS, o Modelo Digital de Exploração Florestal (MODEFLORA). A metodologia tem como objetivo a melhoria no planejamento, agregando melhor desempenho na instalação da infraestrutura e diminuição dos impactos ambientais (FIGUEIREDO; BRAZ; D'OLIVEIRA, 2007).

O MODEFLORA representou um grande avanço na metodologia de planejamento, pois contribui na formação de um banco de dados preciso das informações obtidas em campo. A partir dessa nova abordagem, surgiram novas propostas de pesquisas com o objetivo de desenvolver melhorias e aplicações no MFS.

Figueiredo et al. (2009) propuseram uma metodologia de modelagem da hidrografia e definições de árvores em Áreas de Preservação Permanente (APP) por meio do MODEFLORA. Broza et al. (2012) estudaram a aplicação da metodologia do MODEFLORA utilizando software livre. Silva (2014a) propôs uma dinâmica de exploração de compartimentos florestais para o manejo florestal comunitário por meio de PO e utilizou SIG para processamento do banco de dados.

Lima et al. (2011); Martinhago (2012); Philippart et al. (2012); Silva et al. (2013, 2018a, 2018b) desenvolveram estudos a respeito do planejamento da alocação de pátios na exploração florestal. Emmert (2014) desenvolveu uma metodologia de planejamento computadorizado para o planejamento da exploração. Walker et al. (2013) estudaram a definição de infraestrutura de estradas em áreas fragmentadas na Amazônia.

A partir da metodologia de obtenção de dados do MODEFLORA, é possível espacializar os dados obtidos no campo de forma dinâmica, porém, ainda são escassas as pesquisas que exploram as técnicas do MFP na Amazônia. Outro ponto importante é a validação das metodologias propostas, que em quase sua totalidade não são realizadas.

Uma dessas tecnologias do sensoriamento remoto, o Light Detection and Range (LiDAR), vem demonstrando eficiência quando utilizada como ferramenta no manejo florestal para o planejamento e monitoramento de áreas florestais na Amazônia (D'OLIVEIRA; FIGUEIREDO; PAPA, 2014).

O LiDAR é um sensor remoto ativo que emite um pulso de laser. Ao atingir a superfície do objeto (obstáculo), o pulso retorna. Por meio da triangulação e/ou tempo de retorno, é possível calcular a distância do objeto e construir uma massa de pontos georreferenciados que resultam em produtos de alta exatidão.

A aplicação do LiDAR no planejamento e na execução do MFS proporciona melhor precisão na obtenção de dados das variáveis de campo, como a estrutura da floresta, as bacias hidrográficas e o relevo, sendo possível o levantamento de informações detalhadas em extensas áreas de floresta (D'OLIVEIRA; FIGUEIREDO; PAPA, 2014).

Os estudos que recentemente estão sendo desenvolvidos na Amazônia são diversificados em seus objetivos, abrangendo estudos de amostragem por meio de parcelas para extrapolação de variáveis de interesse como biomassa, aplicações em análises ecológicas e perfilamento 3D de árvores individuais.

Marcus et al. (2012) estimaram a biomassa acima do solo e identificaram áreas alteradas pelas atividades do MFS, na Floresta Estadual do Antimary, por meio do LiDAR. O processamento forneceu resultados significativos para estimativa da biomassa e quantificação de área impactada pelas atividades do MFS. Andersen et al. (2014) avaliaram as mudanças em área de MFS, com o LiDAR, em função da área afetada, mudanças do dossel, métricas da estrutura

da floresta e biomassa acima do solo. Os resultados significativos demonstram a viabilidade da aplicação da tecnologia, pois representam o potencial de monitoramento de áreas extensas a baixo custo de aquisição de dados e com maior exatidão das informações. Já, Orfanó et al. (2016) utilizando métricas da estrutura da copa de três espécies de árvores comerciais da Amazônia, obtidas por meio do LiDAR e variáveis dendrométricas do fuste, estimaram por meio de regressão a biomassa. Os ajustes obtidos demonstraram coeficientes de determinação (R^2) acima de 90%.

A tecnologia LiDAR proporciona inúmeras possibilidades de obtenção de dados para estudos em florestas, sendo recentemente utilizada na Amazônia como ferramenta suporte a PMFS, podendo ser utilizada no planejamento, no monitoramento de áreas florestais e na obtenção de variáveis da estrutura da floresta (D'OLIVEIRA; FIGUEIREDO; PAPA, 2014). Por motivo da gama de possibilidades de aplicação na área florestal, muitos pesquisadores têm focado suas pesquisas, principalmente na biomassa e estoque de carbono, parâmetros estruturais das florestas, altura e volume.

A aplicação para estudos relacionados à estimativa e à espacialização de biomassa e carbono pode ser vista nos trabalhos de García et al. (2010); Gleason; Im (2012); Goetz et al. (2009); Gregoire et al. (2016); Li et al. (2015a, 2015b); Næsset; Gobakken (2008); Réjou-Méchain et al. (2015); Silva et al. (2014) e Tsui et al. (2013).

As estimativas dos parâmetros da estrutura da floresta são importantes para conhecer a produção e a dinâmica da tipologia florestal. Pesquisas têm demonstrado resultados relevantes quando são utilizadas métricas obtidas por meio do LiDAR, como são apresentados nos trabalhos de Cao et al. (2016), Chaves et al. (2014), García-gutiérrez et al. (2015), Jensen et al. (2008), Lopatin et al. (2016), Maguya, Junttila e Kauranne (2013), Melin et al. (2016), Palminteri et al. (2012), Pascual, Pukkala e Rodríguez (2016), Skowronski et al. (2014), Su et al. (2016), Sumnall, Hill e Hinsley (2016), e Zhao et al. (2011). As estimativas de volume e altura para árvores individuais e povoamentos por meio de LiDAR também vêm sendo estudadas, como pode ser visto nos trabalhos de Carvalho et al. (2015), Figueiredo (2014), Næsset e Økland (2002), Næsset (1997), Næsset (1997) e Tompalski et al. (2015).

Diante do exposto, a aplicação da tecnologia LiDAR no manejo florestal de precisão proporciona um novo nível de planejamento, demonstrando um diferencial ao proporcionar o perfilamento a laser de indivíduos, modelos de elevação do terreno com maior exatidão e, conseqüentemente, melhorias na definição de APPs, estradas florestais e trilhas de arraste (FIGUEIREDO, 2014).

A importância do uso de novas metodologias de planejamento, execução e monitoramento das atividades florestais é crucial, pois reflete diretamente no MFS, em relação à redução de custos, de impactos ambientais e na viabilidade de exploração no segundo ciclo da área (BRAZ, 2010). Para Huth, Drechsler e Ko (2004) um desafio do MFS é o equilíbrio dos objetivos econômicos, ambientais e sociais.

4.1.3 Exploração de impacto reduzido na Amazônia (EIR)

As técnicas de EIR compreendem o corte de cipós, o planejamento e a alocação da infraestrutura de pátios de estocagem e das estradas florestais em locais de menor perturbação da floresta, o abate de árvores com técnicas de queda direcionada, o arraste de toras com localização exata e o planejamento das trilhas de arraste pela menor distância. Também, incluir boas práticas de higiene por parte das equipes de campo durante a exploração, a proteção florestal, a manutenção de infraestrutura e demais técnicas que visem a manutenção da dinâmica florestal durante o ciclo de produção (AMARAL et al., 1998).

A aplicação de técnicas de EIR pode gerar custo acima daqueles praticados na exploração convencional, porém uma análise econômica pode justificar o investimento em treinamento e na aplicação dessas técnicas, pois possibilita maior segurança nas operações, diminui impactos ambientais, que são desconhecidos no segundo ciclo, e favorece o sistema de certificação que melhora a comercialização do produto (BOLTZ; HOLMES; CARTER, 2003; HOLMES et al., 2002; HUTH; DITZER, 2001). Deve ser levado em consideração, também, que um melhor planejamento diminui custos de produção, compensando os gastos em treinamento e adoção de técnicas. Boltz, Holmes e Carter (2003) relatam que embora os custos iniciais sejam maiores que o da

exploração convencional, os mesmos são compensados na melhoria da eficiência, ou seja, redução das despesas com custos variáveis.

Para Medjibe e Putz (2012) ainda existe uma dificuldade em determinar os custos para uma análise econômica da EIR com a EC em função, por exemplo, da tecnologia empregada, do treinamento da equipe, do horizonte de planejamento, do rendimento das atividades, da intensidade da exploração e tipologia florestal, e assim, fazer um paralelo. Porém, quando avaliada a importância financeira e ambiental da gestão de florestas nativas, é clara a necessidade de práticas aperfeiçoadas para a tomada de decisões, a fim de melhorar o manejo das florestas, demonstrando assim a importância da adoção de técnicas de EIR.

Estudos referentes à EIR na Amazônia ainda são escassos. Para Boltz, Holmes e Carter (2003) há variáveis significativas nas avaliações quando se realiza comparações entre explorações que utilizam técnicas de EIR e EC, quanto à análise de custos e aos impactos ambientais, pois fatores como a intensidade da exploração, o rendimento de atividades e as tipologias florestais interferem na comparação. Porém, inúmeros estudos identificam tendências em comum na comparação de áreas exploradas com técnicas de EIR, quando analisadas as variáveis ecológicas e econômicas, revelando sua superioridade em relação à EC (BOLTZ; HOLMES; CARTER, 2003; HOLMES et al., 2002; HUTH; DITZER, 2001; MEDJIBE; PUTZ, 2012; VIDAL; WEST; PUTZ, 2016).

Além de ganhos econômicos, existem os ganhos ambientais do emprego da EIR no MFS. Na maioria das vezes, é possível quantificar a redução do impacto ambiental em campo, em função da infraestrutura implantada na floresta manejada, mas há pressuposições de ganhos que ainda não são possíveis de calcular, pois necessitam de monitoramento em longo prazo (LUSSETTI et al., 2016).

Boltz; Holmes; Carter (2003) relatam que a EC pode apresentar de 90 a 129% da perda de dossel da EIR, além de promover até quatro vezes mais impactos no solo. Holmes et al. (2002) obtiveram redução no desperdício de madeira em função da altura do toco, técnica de corte e localização da árvore abatida.

A Amazônia brasileira possui potencial ímpar no fornecimento de produtos florestais, principalmente a madeira (BOLTZ; HOLMES; CARTER,

2003). A quantidade reduzida de pesquisas faz com que existam lacunas no planejamento e exploração de florestas nativas que devem ser estudadas.

Nesse contexto, as técnicas de MFS representam a melhor forma de obter matéria prima das florestas, sendo que a adoção de tecnologias, e novas metodologias de planejamento, de execução e monitoramento, aliadas aos conceitos e técnicas da EIR são pontos chave para o manejo desse recurso (HOLMES et al., 2002; MEDJIBE; PUTZ, 2012).

4.2 PESQUISA OPERACIONAL APLICADA AO MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL NA AMAZÔNIA

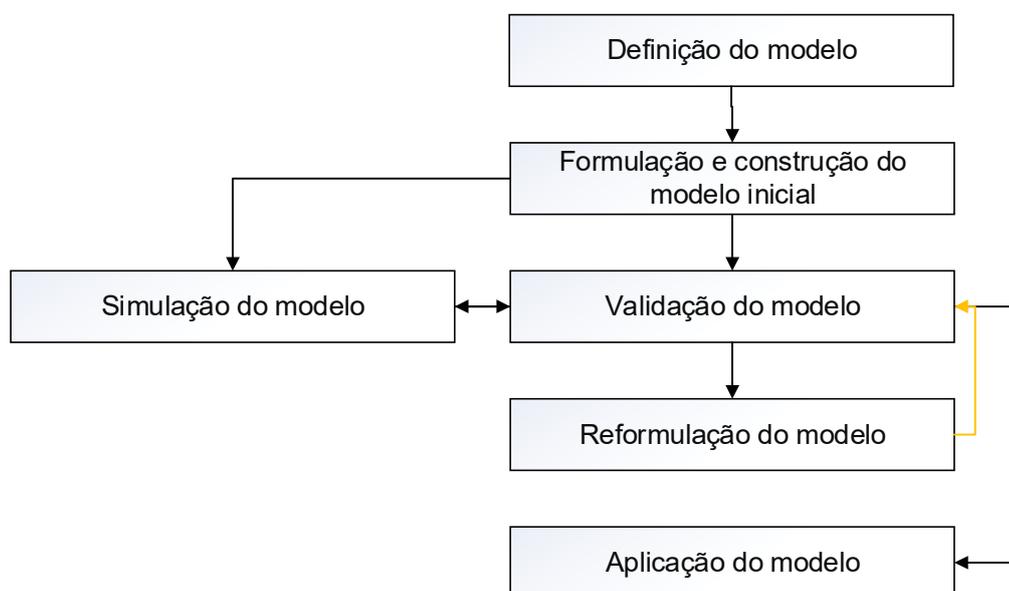
A primeira definição para Pesquisa Operacional (PO) foi publicada pelo periódico inglês *Operational Research Quarterly*, em 1967, que define, de forma abreviada, como sendo a elaboração de metodologia científica de sistemas complexos, visando prever e confrontar estratégias de decisão ou decisões alternativas. O objetivo é proporcionar suporte para as tomadas de decisão do sistema de forma científica e para realizar a alocação, de forma ótima, de recursos escassos (ARENALES et al., 2011).

A aplicação da PO foi viabilizada para formulação e solução de problemas mais complexos em função do avanço tecnológico (GOLDBARG; LUNA, 2005; HILLER; LIEBERMAN, 2013). Dykstra (1984) já relatava a importância do domínio da PO por profissionais que gerem recursos de qualquer natureza e em qualquer nível de planejamento. A PO tem estrutura lógica apoiada em ferramentas matemáticas, que visa a condição ótima do sistema apresentado. Os modelos quantitativos são originados da programação matemática, os quais são agrupados em três subáreas: Programação Linear, Programação Não-linear e Programação Inteira (GOLDBARG; LUNA, 2005). Um problema de PO pode ser definido em: função objetivo, variáveis de decisão ou controle e nível de detalhamento.

Desse modo, a elaboração de um modelo pode ser estruturada de acordo com a

Figura 2. A PO é utilizada em empresas florestais de grande porte, podendo ser aplicada por meio de diversos tipos de programação, entre elas a: Programação Linear, Programação Inteira, Programação Não-Linear, Programação Dinâmica e Programação por Metas (KANGAS et al., 2015).

Figura 2. Etapas de formulação do modelo matemático



Fonte: adaptado de Goldberg; Luna (2005).

Já a aplicação de PO em problemas relacionados ao planejamento em áreas de MFS na Amazônia é pouco estudada. Braz, Carnieri e Arce (2004) foram os precursores ao aplicar programação por metas quando propuseram um modelo matemático capaz de dar suporte ao planejamento na regulação da renda por meio da seleção de talhões a serem explorados. Silva (2014a) simulou o agrupamento de unidades de trabalho com o objetivo de regulação da renda, com ênfase na economia da relação entre a empresa e a comunidade.

Gomide; Moura; Mello (2011); Leite (2017); Martinhago (2012); Silva et al. (2018a, 2018b) estudaram o planejamento da alocação de pátios de estocagem em PMFS por meio do modelo p-mediana, o modelo matemático

consistiu em definir a melhor localização de uma instalação que minimize a distância de ligação a cada cliente.

Batista (2016) estudou a aplicação da PO para avaliar a viabilidade econômica do MFS em áreas de concessão florestal. o estudo apresentou resultados satisfatórios para o planejamento, indicando uma intensidade ótima de exploração abaixo do comumente praticado, em razão de menores distâncias de arraste. A minimização da distância de arraste (máximo 215 metros) em função da menor intensidade de árvores abatidas ($14 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) proporcionou uma maior taxa de retorno econômico (TIR), com valor de 9,5%.

O modelo de p-mediana aplicado nos trabalhos de Gomide; Moura; Mello (2011); Leite (2017); Martinhago (2012); Silva et al. (2018a, 2018b), vem sendo utilizado para solucionar problema de localização-alocação de instalações. O conceito aplicado nesses trabalhos se refere à alocação de pátios de estocagem em função de restrições previamente estabelecidas.

O modelo de p-medianas pode agrupar indivíduos em função da menor distância. Desse modo, o mesmo foi utilizado para propor UPAs por Leite (2017), sendo que a definição das UPAs é uma das etapas que antecede a exploração florestal, pois representa a delimitação da área de manejo e, posteriormente, a exploração de todos os indivíduos que a compõem, com base na legislação vigente. Como apresentado, os modelos de localização-alocação têm potencial para a aplicação não somente na alocação de pátios, mas também no planejamento das UPAs em diferentes tipologias florestais.

4.2.1 Modelo de localização-alocação

A alocação de pátios de estocagem é basicamente um problema de posicionamento ótimo da infraestrutura, pois conforme sua localização é possível melhorar o rendimento da atividade de arraste, por exemplo. Os modelos de alocação formam clusters em resultado de restrições que podem ser de distância, capacidade e quantidade de localidades a serem instaladas.

Uma vez que modelos de localização formam esses clusters, analogamente podem ser aplicados na formação de UPAs de acordo com as restrições de renda, o volume e as classes de uso (SILVA et al., 2018c). Os

problemas de localização-alocação definem basicamente quais instalações (lojas, armazéns, escolas, posto policial, creches e dentre outros) que visam atender a determinados clientes (residências, bairros, clientes, regiões dentre outros), e que devem ser selecionadas para serem abertas, definindo o local de abertura da instalação e quais clientes serão atendidos por cada instalação selecionada (COLIN, 2011; DANESHZAND; SHOELEH, 2009; DREZNER; HAMACHER, 2009; FÁVERO; BELFIORE, 2013; FINKE, 2008; GOLDBARG; HENRIQUE PACCA L. LUNA, 2005; KLOSE; DREXL, 2005b; LUENBERGER; YE, 2016).

Pirkul, Gupta e Rolland (1999) definem que o modelo de localização-alocação da p-mediana é um grafo $G = (V, E)$, $V_1 \subset V$, onde V_1 é o conjunto de locais de instalação passíveis de serem selecionadas de capacidade C , V é o conjunto de locais (nós) de demanda com um vetor de demanda 1 . Necessita-se obter um conjunto de locais (nós) S ($S \subseteq V_1$), de cardinalidade P , sendo que a soma ponderada atribui instalações V ao conjunto S , de forma minimizada, enquanto toda a demanda é atendida sem violar os limites máximos das restrições.

Os modelos de localização-alocação tem formulações diversas, com variação em sua complexidade, possuindo modelos lineares simples, monocelulares, monocomponentes, não-capacitados, determinísticos a modelos probabilísticos não-lineares (KLOSE; DREXL, 2005).

O modelo matemático da p-mediana pode ser descrito da seguinte forma, com restrições de ligações e capacidades máximas (ARENALES et al., 2011; DANESHZAND; SHOELEH, 2009; DASKIN, 1995; DREZNER; HAMACHER, 2009; EISELT; SANDBLOM, 2004; EISELT; MARIANOV, 2011; FÁVERO; BELFIORE, 2013; GOLDBARG, 2015; HURTER; MARTINICH, 1989; LUENBERGER; YE, 2016; PADBERG; RIJAL, 1996; SULE, 2001):

$$\text{Minimizar: } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^P d_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^P x_{ij} = 1 \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^P Y_j = p \quad (3)$$

$$x_{ij} - Y_j \leq 0 \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n q_i x_{ij} \leq Q_j \quad (5)$$

$$d_{ij} x_{ij} \leq Dmáx \quad (6)$$

Em que: i = clientes; j = instalações; P = número total de instalações passíveis de serem alocados; d_{ij} = custo de ligação do cliente i para a instalação j ; p = quantidade de instalações a serem efetivamente alocados ($p \in P$); x_{ij} = variável binária (0 ou 1) que assume o valor 1 caso o cliente i seja alocado na instalação j , e 0 em caso contrário; Y_j = é uma variável binária (0, 1), assumindo o valor 1 caso a instalação seja selecionada e zero em caso contrário; q_i = demanda do cliente i , Q_j = capacidade da instalação j ; $Dmáx$ = distância máxima de ligação entre o cliente i até a instalação j .

A função objetivo (FO) (Equação 1) minimiza o somatório dos custos de ligação entre cada cliente e instalação. A primeira restrição (Equação 2) garante que cada cliente não possa ser ligado a mais de uma instalação. A segunda restrição (Equação 3) garante que de todas as instalações possíveis (P) de serem selecionadas, apenas um determinado número de instalações será selecionado (p). Na prática, esta restrição garante que um número reduzido e pré-definido de instalações (p) seja selecionado, isto é, a seleção de p dentro de P . A terceira restrição (Equação 4), associada à segunda restrição (Equação 3), permite decidir quais serão as p instalações selecionadas dentro de P . A quarta restrição (Equação 5) garante que a capacidade máxima da instalação (Q_j) não seja ultrapassada; e a restrição (Equação 6) garante que um cliente i não seja ligado à instalação j além da distância máxima de ligação ($Dmáx$).

Tomando-se como referência este modelo clássico de p -medianas, existem outros desdobramentos de modelos de localização (KLOSE; DREXL, 2005). A restrição (Equação 3) determina a quantidade de instalações p que devem ser selecionadas, ao substituir a Equação 1 de acordo com a Equação 7, não existe a necessidade de determinar p , o mesmo será em função do seu custo de instalação (MARINS, 2000; DASKIN, 1995; DREZNER; HAMACHER, 2009; FÁVERO; BELFIORE, 2013; TAHA, 2008).

$$\text{Minimizar: } \sum_{i=1}^P c_j y_j + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^P d_{ij} x_{ij} \quad (7)$$

Em que: c_j = custo de abertura da instalação j ; y_j = é uma variável binária (0, 1), assumindo o valor 1 caso a instalação seja selecionada e zero em caso contrário.

Em relação ao método de solução Mareth e Pizzolato (2014), por meio de estudo de revisão, concluíram que os métodos mais empregados na solução de problemas da p -mediana são o algoritmo genético (AG), a Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (GRASP) e o Branch-and-bound. O problema das p -medianas é classificado como NP-Hard, sendo necessário um elevado esforço computacional para ser solucionado por métodos exatos (GAREY; JOHNSON, 1979). Desse modo, na solução de problemas com quantidade elevada de combinações, comumente são utilizados métodos heurísticos (AVELLA et al., 2012; BEASLEY, 1985; DOMÍNGUEZ; MUÑOZ, 2008; JACKSON; ROUSKAS; STALLMANN, 2007; MLADENOVIC et al., 2007; ROLLAND; SCHILLING; CURRENT, 1997).

Os modelos clássicos de localização-alocação são empregados em diversas áreas do conhecimento, por exemplos: Campbell (1994) estudou a localização ótima de *Hubs* utilizado para transbordo e comutação nos sistemas de telecomunicações. Eberlan (2004), após a ocorrência do atentado de 11 de setembro, definiu a localização e a quantidade dos locais de alerta para decolagem de aeronaves da força aérea dos Estados Unidos para defesa de ataques terroristas. Klose e Drexl (2005) representaram os modelos aplicados em projetos de sistemas de distribuição em empresas.

5 REFERÊNCIAS

AMARAL, P. et al. **Floresta para sempre: Um manual para a produção de madeira na Amazônia.** Belém:Pará: Imazon, 1998.

AMATA. **Relatórios AMATA.** Disponível em: <<http://www.amatabrasil.com.br/conteudo/sustentabilidade>>. Acesso em: 7 nov. 2017.

ANDERSEN, H. et al. Monitoring selective logging in western Amazonia with repeat lidar flights. **Remote Sensing of Environment**, v. 151, p. 157–165, ago. 2014.

ARENALES, M. et al. **Pesquisa operacional.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

AVELLA, P. et al. An aggregation heuristic for large scale p-median problem. **Computers & Operations Research**, v. 39, n. 7, p. 1625–1632, jul. 2012.

BALIEIRO ET AL., M. **As concessões de florestas públicas na Acalmazônia Brasileira: Um manual para pequenos e médios produtores florestais.** Piracicaba: São Paulo: IMAFLORA/IFT, 2010.

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

BATISTA, A. F. **O uso de ferramentas de otimização para concessões florestais na Amazônia: uma abordagem econômica.** Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/documentos/informacoes-florestais/premio-sfb/iii-premio/monografias-iii-premio/profissional-3/650-ganhador-1-lugar-profissional-monografia-1/file>>. Acesso em: 11 ago. 2019.

BEASLEY, J. E. A note on solving large p-median problems. **European Journal of Operational Research**, v. 21, n. 2, p. 270–273, ago. 1985.

BOLTZ, F.; HOLMES, T. P.; CARTER, D. R. Economic and environmental impacts of conventional and reduced-impact logging in Tropical South America: a comparative review. **Forest Policy and Economics**, v. 5, n. 1, p. 69–81, jan. 2003.

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., 2006. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Lei/L11284.htm>

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de Maio de 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, 2012.

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, 2010.

BRAZ, E. M.; CARNIERI, C.; ARCE, J. E. Um modelo otimizador para organização dos compartimentos de exploração em floresta tropical. **Revista Floresta**, v. 28, n. 1, p. 77–83, 2004.

BRIENEN, R. J. W. et al. Long-term decline of the Amazon carbon sink. **Nature**, v. 519, n. 7543, p. 344–8, 2015.

BROZA, K. T. et al. Etapas do planejamento do projeto modeflora em SIG livre. p. 651–658, 2012.

CAMPBELL, J. F. Integer programming formulations of discrete hub location problems. **European Journal of Operational Research**, v. 72, p. 387–405, 1994.

CAO, L. et al. Tree species classification in subtropical forests using small-footprint full-waveform LiDAR data. **International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation**, v. 49, p. 39–51, 2016.

CARVALHO, S. DE P. C. E et al. Predict volume of trees integrating Lidar and Geostatistics Resumo. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 107, p. 627–637, 2015.

CONTRERAS, M.; CHUNG, W. A 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, n. 2, p. 276–292, fev. 2007.

D'OLIVEIRA, M. V. N. et al. Estimating forest biomass and identifying low-intensity logging areas using airborne scanning LiDAR in Antimary State Forest, Acre State, Western Brazilian Amazon. **Remote Sensing of Environment**, v. 124, p. 479–491, set. 2012.

D'OLIVEIRA, M. V. N.; FIGUEIREDO, E. O.; PAPA, D. DE A. **Uso do LiDARr como ferramenta para o manejo de precisão em florestas tropicais**. Rio Branco, AC: EMBRAPA, 2014.

DANESHZAND, F.; SHOELEH, R. **Facility location**. Heidelberg: Physica-Verlag HD, 2009.

DARRIGO, M. R.; VENTICINQUE, E. M.; SANTOS, F. A. M. DOS. Effects of reduced impact logging on the forest regeneration in the central Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 360, p. 52–59, 2016.

DASKIN, M. S. **Network and discrete location**. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 1995.

DOMÍNGUEZ, E.; MUÑOZ, J. A neural model for the p-median problem. **Computers & Operations Research**, v. 35, n. 2, p. 404–416, fev. 2008.

DREZNER, Z.; HAMACHER, H. W. **Facility location**. Heidelberg: Physica-Verlag HD, 2009.

DYKSTRA, D. P. **Mathematical programming for natural resource management**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1984.

EBATA, P. F. **Plano de manejo florestal sustentável de uso múltiplo**. Disponível em: <http://www.ebata.com.br/novo/wp-content/uploads/2013/08/PMFS-EBATA_Resumo-Publico_UMF-IA-Saracá-taquera.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2019.

EBERLAN, J. A. **Location optimization of continental United States strip alert sites supporting homeland defense**. 2004. 197 f. Master (Master of Science in Logistics Management) - Air University, Ohio, 2004.

EISELT, H. A.; SANDBLOM, C.-L. **Decision analysis, location models, and scheduling problems**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2004.

EISELT, H. A; MARIANOV, V. **Foundations of location**. Boston, MA: Springer US, 2011. v. 155

EMMERT, F. **Combinação de dados de campo e métodos computacionais para o planejamento da exploração florestal na amazônia fabiano emmert**. 2014. 190 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2014.

ESPADA, A. L. V. et al. **As concessões de florestas públicas na Amazônia brasileira: a lei de gestão de florestas públicas e o panorama das concessões florestais na amazônia brasileira**. Belém, Pará: IFT, 2016.

FÁVERO, L. P.; BELFIORE, P. **Pesquisa operacional para cursos de engenharia**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

FFT, F. F. T. **Manual de procedimentos técnicos para condução de manejo florestal e exploração de impacto reduzido**. Belém, Pará: FFT, 2002.

FIGUEIREDO, E. O. et al. **Modelagem da hidrografia em planos de manejo e critérios para definição de árvores em APP pelo Modeflora**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre - Circular técnica 50, 2009.

FIGUEIREDO, E. O. **Modelagem biométrica para árvores individuais a partir do LIDAR em área de manejo de precisão em florestas tropicais na Amazônia ocidental**. 2014. 86 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais Tropicais) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2014.

FIGUEIREDO, E. O. et al. 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, dez. 2016.

FIGUEIREDO, E. O.; BRAZ, E. M.; D'OLIVEIRA, M. V. N. **Manejo de precisão em florestas tropicais: modelo digital de exploração florestal**. Rio Branco, AC: EMBRAPA, Acre, 2007.

FIGUEIREDO, E. O.; LIMA, Q. S. **Coefficientes Técnicos para o Inventário e Manejo Florestal com Emprego do Modelo Digital de Exploração Florestal (Modeflora)**. Rio Branco, AC: EMBRAPA - Acre, Comunicada Técnico 169, 2008.

FOTAKIS, D. G. Multi-objective spatial forest planning using self-organization. **Ecological Informatics**, v. 29, n. 1, p. 1–5, 2015.

FREITAS, J. V. DE; FREITAS, E. Y. DE; HUMMEL, A. C. **Uso dos recursos florestais na Amazônia: manejando a floresta para a produção de madeira**. Manaus, AM: IBAMA/ProManejo, 2005.

GARCÍA-GUTIÉRREZ, J. et al. A comparison of machine learning regression techniques for LiDAR-derived estimation of forest variables. **Neurocomputing**, v. 167, p. 24–31, 2015.

GARCÍA, M. et al. Estimating biomass carbon stocks for a Mediterranean forest in central Spain using LiDAR height and intensity data. **Remote Sensing of Environment**, v. 114, n. 4, p. 816–830, 2010.

GAREY, M. R.; JOHNSON, D. **Computers and Intractability: A guide to the theory of NP-completeness**. San Francisco: WH Freeman, 1979.

GLEASON, C. J.; IM, J. Forest biomass estimation from airborne LiDAR data using machine learning approaches. **Remote Sensing of Environment**, v. 125, p. 80–91, 2012.

GOETZ, S. J. et al. Mapping and monitoring carbon stocks with satellite observations : a comparison of methods. **Carbon Balance and Management**, v. 7, p. 1–7, 2009.

GOLDBARG, M. C. **Programação linear e fluxos em redes**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

GOLDBARG, M. C.; LUNA, H. P. L. **Otimização combinatória e programação linear: Modelos e algoritmos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

GOMIDE, L. R.; MOURA, A. L. DE M.; MELLO, J. M. DE. **Simulação otimizada da exploração florestal de impacto reduzido em uma mata nativa localizada em Lavras, MG**. XX congresso de pós-graduação da UFLA. Lavras, MG: Universidade Federal de Lavras, 2011.

GREGOIRE, T. G. et al. Statistical rigor in LiDAR-assisted estimation of aboveground forest biomass. **Remote Sensing of Environment**, v. 173, p. 98–108, 2016.

HILLER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução á pesquisa operacional**. 9. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

HOLMES, T. P. et al. Financial and ecological indicators of reduced impact logging performance in the eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 163, n. 1–3, p. 93–110, jun. 2002.

HOSOKAWA, R. T.; MOURA, J. B.; CUNHA, U. S. **Introdução ao manejo economia de floresta**. Curitiba: UFPR, 1998.

HOUGHTON, R. A. The emissions of carbon from deforestation and degradation

in the tropics: past trends and future potential. **Carbon Management**, v. 4, n. 5, p. 539–546, 10 out. 2013.

HURTER, A. P.; MARTINICH, J. S. **Facility Location and the Theory of Production**. Dordrecht: Springer Netherlands, 1989.

HUTH, A.; DITZER, T. Long-term impacts of logging in a tropical rain forest — a simulation study. **Forest Ecology and Management**, v. 142, n. 1–3, p. 33–51, mar. 2001.

HUTH, A.; DRECHSLER, M.; KÖHLER, P. Multicriteria evaluation of simulated logging scenarios in a tropical rain forest. **Journal of Environmental Management**, v. 71, n. 4, p. 321–333, 2004.

IBAMA. **Norma de execução n.º 1, de 24 abril de 2007**. Institui, no âmbito desta Autarquia, as Diretrizes Técnicas para Elaboração dos Planos de Manejo Florestal Sustentável – PMFS. Instituto Brasileiro do meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, 2007. Disponível em: <https://www.gret.org/static/cdrom/floresta_viva_amazonas/Files/norma_exec_IBAMA_01_240407.pdf>

JACKSON, L. E.; ROUSKAS, G. N.; STALLMANN, M. F. M. The directional p-median problem: Definition, complexity, and algorithms. **European Journal of Operational Research**, v. 179, n. 3, p. 1097–1108, jun. 2007.

JENSEN, J. L. R. et al. Discrete return lidar-based prediction of leaf area index in two conifer forests. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, p. 3947–3957, 2008.

KANGAS, A. et al. **Decision Support for Forest Management**. Cham: Springer International Publishing, 2015. v. 30

KLOSE, A.; DREXL, A. Facility location models for distribution system design. **European Journal of Operational Research**, v. 162, n. 1, p. 4–29, 2005a.

KLOSE, A.; DREXL, A. **Facility location models for distribution system design**. European Journal of Operational Research. 2005b. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0377221703008191>>

LEITE, C. C. C. **Custo de produção de madeira me tora e definição ótima de produção anual me florestas nativas na Amazônia**. 2017. 200 f. Dissertação (Mestre em Ciências Florestais) - Universidade Federal dp Espírito Santo, 2017.

LEWIS, S. L.; EDWARDS, D. P.; GALBRAITH, D. Increasing human dominance of tropical forests. **Science**, v. 349, n. 6250, p. 827–832, 21 ago. 2015.

LI, W. et al. Airborne LiDAR technique for estimating biomass components of maize : A case study in Zhangye City , Northwest China. **Ecological Indicators**, v. 57, p. 486–496, 2015a.

LI, W. et al. Geostatistical modeling using LiDAR-derived prior knowledge with SPOT-6 data to estimate temperate forest canopy cover and above-ground

biomass via stratified random sampling. **International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation**, v. 41, p. 88–98, 2015b.

LIMA, M. P. DE et al. Metodologia para planejamento das pilhas de madeira utilizando geotecnologia e pesquisa operacional. **Cerne**, v. 17, n. 3, p. 309–319, 2011.

LOPATIN, J. et al. Comparing generalized linear models and random forest to model vascular plant species richness using LiDAR data in a natural forest in central Chile. **Remote Sensing of Environment**, v. 173, p. 200–210, 2016.

LÓPEZ-RIQUELME, J. A. et al. A software architecture based on FIWARE cloud for Precision Agriculture. **Agricultural Water Management**, v. 183, p. 123–135, 2017.

LUENBERGER, D. G.; YE, Y. **Linear and Nonlinear Programming**. Cham: Springer International Publishing, 2016.

LUSSETTI, D. et al. Supervised logging and climber cutting improves stand development: 18 years of post-logging data in a tropical rain forest in Borneo. **Forest Ecology and Management**, v. 381, p. 335–346, dez. 2016.

MACHADO, C. C.; LOPES, E. DA S. Planejamento. In: MACHADO, C. C. (Ed.). **Colheita Florestal**. Viçosa, MG: UFV, Imprensa Universitária, 2014. p. 543 p.

MAGUYA, A. S.; JUNTILA, V.; KAURANNE, T. Adaptive algorithm for large scale dtm interpolation from lidar data for forestry applications in steep forested terrain. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 85, p. 74–83, 2013.

MALINOVSKI, R. A. et al. Otimização da distância de extração de madeira com forwarder Optimization. **Scientia Forestalis**, v. 36, n. 79, p. 171–179, 2008.

MARETH, T.; PIZZOLATO, N. D. Mapeamento da utilização dos métodos/algoritmos aplicados na resolução de problemas de localização. **Revista Eletrônica Operacional para o Desenvolvimento**, v. 6, n. 1, p. 154–182, 2014.

MARINS, F. A. S. **Introdução à Pesquisa Operacional**. São Paulo: Cultura Acadêmica: Universidade Estadual Paulista, 2011.

MARTINHAGO, A. Z. **Otimização para a locação de pátios de estocagem para exploração de impacto reduzido na amazônia brasileira**. 2012. 236 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

MATHEY, A.-H. et al. Forest planning using co-evolutionary cellular automata. **Forest Ecology and Management**, v. 239, n. 1–3, p. 45–56, 2007.

MEDJIBE, V. P.; PUTZ, F. E. Cost comparisons of reduced-impact and conventional logging in the tropics. **Journal of Forest Economics**, v. 18, n. 3, p. 242–256, ago. 2012.

MELIN, M. et al. Ecological dimensions of airborne laser scanning — Analyzing the role of forest structure in moose habitat use within a year. **Remote Sensing of Environment**, v. 173, p. 238–247, 2016.

MLADENović, N. et al. The p-median problem: A survey of metaheuristic approaches. **European Journal of Operational Research**, v. 179, n. 3, p. 927–939, jun. 2007.

NÆSSET, E. Determination of mean tree height of forest stands using airborne laser scanner data. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 52, n. 2, p. 49–56, abr. 1997a.

NÆSSET, E. Estimating timber volume of forest stands using airborne laser scanner data. **Remote Sensing of Environment**, v. 61, n. 2, p. 246–253, ago. 1997b.

NÆSSET, E.; GOBAKKEN, T. Estimation of above- and below-ground biomass across regions of the boreal forest zone using airborne laser. **Remote Sensing of Environment journal**, v. 112, p. 3079–3090, 2008.

NÆSSET, E.; ØKLAND, T. Estimating tree height and tree crown properties using airborne scanning laser in a boreal nature reserve. **Remote Sensing of Environment**, v. 79, p. 105–115, 2002.

OIMT. **Reseña anual y evaluación de la situación mundial de las maderas 2015-2016**. Yokohama, Japón: Organización Internacional de las Maderas Tropicales, 2016.

OLIVEIRA, L. T. DE et al. Influência da idade na contagem de árvores de Eucalyptus sp. com dados de lidar. **CERNE**, v. 20, n. 4, p. 557–565, dez. 2014.

PADBERG, M.; RIJAL, M. P. **Location, scheduling, design and Integer programming**. Boston, MA: Springer US, 1996. v. 3

PALMINTERI, S. et al. LiDAR measurements of canopy structure predict spatial distribution of a tropical mature forest primate. **Remote Sensing of Environment**, v. 127, p. 98–105, 2012.

PASCUAL, A. et al. Using spatial optimization to create dynamic harvest blocks from LiDAR-based small interpretation units. **Forests**, v. 7, n. 12, p. 220, 30 set. 2016.

PHILIPPART, J. et al. Mathematical formulation and exact solution for landing location problem in tropical forest selective logging, a case study in Southeast Cameroon. **Journal of Forest Economics**, v. 18, n. 2, p. 113–122, abr. 2012.

PIRKUL, H.; GUPTA, R.; ROLLAND, E. VisOpt: a visual interactive optimization tool for P-median problems. **Decision Support Systems**, v. 26, n. 3, p. 209–223, set. 1999.

PUKKALA, T.; HEINONEN, T. Optimizing heuristic search in forest planning. **Nonlinear Analysis: Real World Applications**, v. 7, n. 5, p. 1284–1297, 2006.

PUTZ, F. E. et al. Sustaining conservation values in selectively logged tropical forests: the attained and the attainable. **Conservation Letters**, v. 5, n. 4, p. 296–303, ago. 2012.

PUTZ, F. E.; ROMERO, C. Futures of tropical forests (sensu lato). **Biotropica**, v. 46, n. 4, p. 495–505, 2014.

RÉJOU-MÉCHAIN, M. et al. Using repeated small-footprint LiDAR acquisitions to infer spatial and temporal variations of a high-biomass Neotropical forest. **Remote Sensing of Environment**, v. 169, p. 93–101, 2015.

ROLLAND, E.; SCHILLING, D. A.; CURRENT, J. R. An efficient tabu search procedure for the p-Median Problem. **European Journal of Operational Research**, v. 96, n. 2, p. 329–342, jan. 1997.

ROTTA, G. W.; MICOL, L.; SANTOS, N. B. DOS. **Manejo sustentável no portal da Amazônia: Um benefício econômico, social e ambiental**. Alta Floresta, MT: ICV, 2006.

SABOGAL, C. et al. **Manejo Florestal Empresarial na Amazônia Brasileira**. Belém, Pará: CIFOR, 2006.

SADEGH, M.; MOHAMMADZADEH, M.; NASTIS, S. A. Agricultural experts' attitude towards precision agriculture: Evidence from Guilan Agricultural. **Information Processing in Agriculture**, v. 3, n. 3, p. 183–189, 2016.

SCHWARTZ, G. et al. Mid-term effects of reduced-impact logging on the regeneration of seven tree commercial species in the Eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 274, p. 116–125, jun. 2012.

SFB, S. F. B. **Florestas do Brasil em resumo - 2013: dados de 2007-2012**. Brasília, DF: SFB, 2013.

SFB, S. F. B. **Cadastro Nacional de Florestas Públicas - Atualização 2017**. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/cadastro-nacional-de-florestas-publicas/127-informacoes-florestais/cadastro-nacional-de-florestas-publicas-cnfp/1413-cadastro-nacional-de-florestas-publicas-atualizacao-2017>>. Acesso em: 20 set. 2018.

SILVA, C. A. et al. Mapping aboveground carbon stocks using LiDAR data in Eucalyptus spp. plantations in the state of São Paulo, Brazil Mapeamento. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 104, p. 591–604, 2014.

SILVA, D. A. S. da. **Regulação de florestas inequidêneas sob manejo florestal comunitário**. 2014. 77 f. Dissertação (Mestre em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2014.

SILVA, E. F. DA et al. Allocation of storage yards in management plans in the Amazon by means of mathematical programming. **Forests**, v. 9, n. 3, p. 127, 8 mar. 2018a.

SILVA, L. F. DA; SILVA, M. L. DA; CORDEIRO, S. A. Análise do mercado

mundial de madeira tropicais. **Revista Política Agrícola**, v. 21, n. 3, p. 48–54, 2012.

SILVA, P. H. DA et al. Otimização operacional de impacto reduzido no corte seletivo de uma floresta inequidiana. **Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, p. 676–685, 2013.

SILVA, P. H. DA et al. Optimal selective logging regime and log landing location models: a case study in the Amazon forest. **Acta Amazonica**, v. 48, n. 1, p. 18–27, mar. 2018b.

SILVA, E. F. et al. Planning of production units for native forest management areas in the Amazon. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal of Agricultural Sciences**, v. 13, n. 1, p. 1–8, 28 mar. 2018c.

SKOWRONSKI, N. S. et al. Airborne laser scanner-assisted estimation of aboveground biomass change in a temperate oak – pine forest. **Remote Sensing of Environment**, v. 151, p. 166–174, 2014.

SU, Y. et al. Spatial distribution of forest aboveground biomass in China: Estimation through combination of spaceborne lidar, optical imagery, and forest inventory data. **Remote Sensing of Environment**, v. 173, p. 187–199, 2016.

SULE, D. R. **Logistics Of Facility Location And Allocation**. 1° ed. Ruston, Louisiana: Marcel Dekker, Inc., 2001.

SUMNALL, M. J.; HILL, R. A.; HINSLEY, S. A. Comparison of small-footprint discrete return and full waveform airborne lidar data for estimating multiple forest variables. **Remote Sensing of Environment**, v. 173, p. 214–223, 2016.

TAHA, H. A. **Pesquisa Operacional**. 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

TIMOFEICZYK JÚNIOR, R. et al. Estrutura de custos do manejo de baixo impacto em florestas tropicais – Um estudo de caso. **Floresta**, v. 35, n. 1, p. 89–103, 2005.

TOMPALSKI, P. et al. Enriching ALS-Derived Area-Based Estimates of Volume through Tree-Level Downscaling. **Forest**, v. 6, p. 2608–2630, 2015.

TSUI, O. W. et al. Integrating airborne LiDAR and space-borne radar via multivariate kriging to estimate above-ground biomass. **Remote Sensing of Environment**, v. 139, p. 340–352, 2013.

VIDAL, E.; WEST, T. A. P.; PUTZ, F. E. Recovery of biomass and merchantable timber volumes twenty years after conventional and reduced-impact logging in Amazonian Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 376, p. 1–8, set. 2016.

WALKER, R. et al. Modeling spatial decisions with graph theory: logging roads and forest fragmentation in the Brazilian Amazon. **Ecological Applications**, v. 23, n. 1, p. 239–254, jan. 2013.

ZHAO, K. et al. Characterizing forest canopy structure with lidar composite metrics and machine learning. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, n. 8, p. 1978–1996, 2011.

6 CAPÍTULO 1 – COEFICIENTES DE PRODUÇÃO E CUSTOS DAS ATIVIDADES FLORESTAIS EM UMA ÁREA DE MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL NA AMAZÔNIA OCIDENTAL

RESUMO

O objetivo da pesquisa foi estruturar e analisar os coeficientes de produção das atividades florestais e dos custos da produção de madeira em tora em uma área de MFS sob regime de concessão florestal, na Amazônia. A área de estudo foi a Floresta Nacional (FLONA) Saracá-Taquera, localizada nos municípios de Faro, Oriximiná e Terra Santa, Unidade de Manejo Florestal II (UMF-II), Unidade de Produção Anual de 2017 (UPA/2017). As informações de produtividade e custos foram obtidas entre agosto e setembro de 2017 por meio de entrevistas realizadas com a equipe técnica responsável, arquivos de controle de compra e de produção, e informações colhidas em campo. Com base nas informações foram analisadas duas estruturas de custo, com e sem depreciação de veículos, tratores e motosserras. Cada estrutura foi avaliada considerando o tempo de cada atividade florestal obtida na entrevista com a equipe técnica e pela a estimativa dos coeficientes de produção. Posteriormente, foram analisadas a estrutura dos custos e os custos médios de produção. Os coeficientes de produção estimaram com acurácia o tempo investido nas atividades florestais, com diferença média relativa de 0,015% no custo total da exploração florestal quando comparado o tempo relatado pela a equipe técnica. O arraste de toras de madeira e a abertura de estradas e de pátios de estocagem foram as atividades de maior custo na exploração florestal e os equipamentos utilizados, veículos, tratores e motosserra, representam mais de 75% dos custos das atividades. O maior custo de produção de madeira na área de concessão foi o pagamento da madeira ao Serviço Florestal Brasileiro (SFB), representando mais de 63% do custo total. Por fim, considerando as estruturas de custo avaliadas, o custo médio de produção foi de 186,72 R\$.m⁻³ e de 4.215, 60 R\$.ha⁻¹.

Palavras-chave: Produtividade, Custos do Manejo Florestal, Economia Florestal, Concessão Florestal.

CHAPTER 1 – COEFFICIENTS OF PRODUCTION AND STRUCTURE OF COST OF FOREST ACTIVITIES IN A SUSTAINABLE FOREST MANAGEMENT AREA IN WESTERN AMAZON

ABSTRACT

The objective of the research was to structure and analyze the coefficients of production of forest activities and the costs of logging in a MFS area under forest concession regime in the Amazon. The study area of the first chapter was the Saracá-Taquera National Forest (NAFO), located in the municipalities of Faro, Oriximiná and Terra Santa, Forest Management Unit II (FMU-II), 2017 Annual Production Unit (APU/2017). Productivity and cost information were obtained between August and September 2017 through interviews with the responsible technical team, purchase and production control files, and information gathered in the field. Based on the information, two cost structures were analyzed, with and without depreciation of vehicles, tractors and chainsaws. Each structure was evaluated considering the time of each forest activity obtained in the interview with the technical team and the estimated production coefficients. Subsequently, the cost structure and the average production costs were analyzed. The production coefficients accurately estimated the time invested in forest activities, with a relative average difference of 0.015% in the total cost of forest exploitation when compared to the time reported by the technical team. Logging and the opening of roads and stockyards are the most costly activities of logging and the equipment used, vehicles, tractors and chainsaw, represent more than 75% of the costs of the activities. Finally, the largest cost of timber production in the concession area is the payment of Brazilian Forest Service (BFS) timber, representing over 63% of the total cost. Finally, considering the cost structures evaluated, the average production cost was 186.72 R\$.m⁻³ and 4,215.60 R\$.ha⁻¹.

Keywords: Productivity, Costs of Forest Management, Forest Economy, Forest Concession.

6.1 INTRODUÇÃO

A Amazônia tem aproximadamente 5 milhões de km² (FAO, 2001; FREITAS; FREITAS; HUMMEL, 2005). E é um dos principais produtores de madeira tropical do mundo, tendo aumentado suas exportações enquanto ocorre a diminuição da produção de madeira na Indonésia e Malásia (OIMT, 2016; SILVA; SILVA; CORDEIRO, 2012). Em meio a essa situação, o gerenciamento dos recursos florestais com o objetivo de produção de bens de forma sustentável e com a manutenção dos ecossistemas é considerado um desafio (SFB, 2013).

O Brasil possui 311,6 milhões de hectares de florestas públicas cadastradas, cerca de 36,6% do território e 58% das florestas nacionais (SFB, 2018). Nesse contexto, o manejo florestal sustentável (MFS), que é um conjunto de técnicas e práticas, é considerado como a alternativa mais viável de exploração dos recursos florestais (BRAZ, 2010; FIGUEIREDO, 2014). O MFS tem sua execução normatizada pela Norma de Execução n.º 1 do IBAMA, de 24 de abril de 2007 (IBAMA, 2007).

Pesquisas relacionadas à análise da viabilidade do MFS têm abordado aspectos técnico-científicos com informações importantes dos custos de produção (JÚNIOR et al., 2008). Entretanto, Gonçalves et al. (2003) relata que, no MFS, a estrutura tradicional de como ocorre o cômputo das informações dos custos das atividades, que é um parâmetro essencial na tomada de decisão, pouco tem colaborado no aspecto gerencial. Tal fato se dá em virtude de informações perdidas ou desvalorizadas na análise da estrutura de custo (custos fixos e variáveis), que tem relação direta com os custos totais, que por sua vez são associados a produção total. A qualidade dessas informações técnico-científicas mais detalhadas dos custos é crucial para análises econômicas mais robustas pertinentes ao comportamento econômico do projeto de MFS durante o ciclo de corte.

Dentre as informações técnico-científicas obtidas para a análise de custos e análise financeira do MFS, estão os coeficientes técnicos de produção. Os coeficientes técnicos de produção expressam a razão da quantidade gasta de um determinado insumo para produzir uma certa quantidade de produto, podendo ser um elemento importante na formação do fluxo de caixa de um

projeto (ALVIM et al., 2011; DELLEMOLE; LINS; SANTANA, 2008; SILVEIRA, 2010).

Os coeficientes técnicos de produção podem ser empregados como sendo um parâmetro indicador de consumo de insumo e um fator de produção utilizado em diversos sistemas produtivos (BORCHARDT, 2004); para medir a eficiência de determinada atividade e suas mudanças ao longo do tempo; servir como base para o planejamento das atividades futuras e definição de metas a serem alcançadas (SILVEIRA, 2010); e na atualização de custos em períodos futuros (HOFFMANN et al., 1984). Sua obtenção pode ser realizada por meio de registros financeiros e físicos dos empreendimentos, de questionários e entrevistas dos registros de produção ou da medição das operações (HOFFMANN et al., 1984).

No MFS, os coeficientes técnicos de produção são importantes para a avaliação dos custos e para o planejamento de projetos florestais. Uma vez que os coeficientes têm relação direta com a atividade desenvolvida, tecnologia e planejamento empregado, e com a qualificação profissional dos colaboradores, quanto maior a quantidade de amostras e variabilidade de área de coleta, melhor será o valor obtido.

Vários autores estudam a importância dos coeficientes técnicos e dos custos de produção em áreas de MFS na Amazônia (BRAZ; BASSO; OLIVEIRA, M. V. N. D'. FIGUEIREDO, 2010; BRAZ; THAINES, 2010; COSTA FILHO; COSTA; AGUIAR, 1980; FIGUEIREDO; LIMA, 2008; FRANCO et al., 2008; HOLMES et al., 1998; JÚNIOR et al., 2008; OLIVEIRA, 2002; OLIVEIRA; BRAZ, 1998; P.; VIDAL; UHL, 1998; SÁ et al., 1997, 1998, 2008; THAINES, 2013; TIMOFEICZYK JÚNIOR et al., 2005, 2007).

Para Thaines (2013), é de suma importância que os coeficientes técnicos de produção deem suporte na avaliação de implantação de projetos florestais, na composição de custo e na comparação de projetos similares. Entretanto, Hoffmann et al. (1984), relatam que se deve atentar para possíveis mudanças no processo de produção.

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi estruturar e analisar os coeficientes de produção das atividades florestais e dos custos da produção de madeira em tora em uma área de MFS, sob regime de concessão florestal, na Amazônia.

6.2 MATERIAL E MÉTODOS

6.2.1 Obtenção de dados

O banco de dados foi obtido por meio de três formas distintas: entrevistas realizadas com a equipe técnica responsável, arquivos de controle de compra e de produção, e informações colhidas em campo. As informações foram coletadas entre agosto e setembro de 2017.

6.2.2 Etapas metodológicas

O fluxograma metodológico das etapas do desenvolvimento da pesquisa é apresentado na Figura 73.

Figura 3 – Esquemática da metodologia utilizada no estudo.



6.2.3 Descrição da área de estudo e do pacote tecnológico de exploração

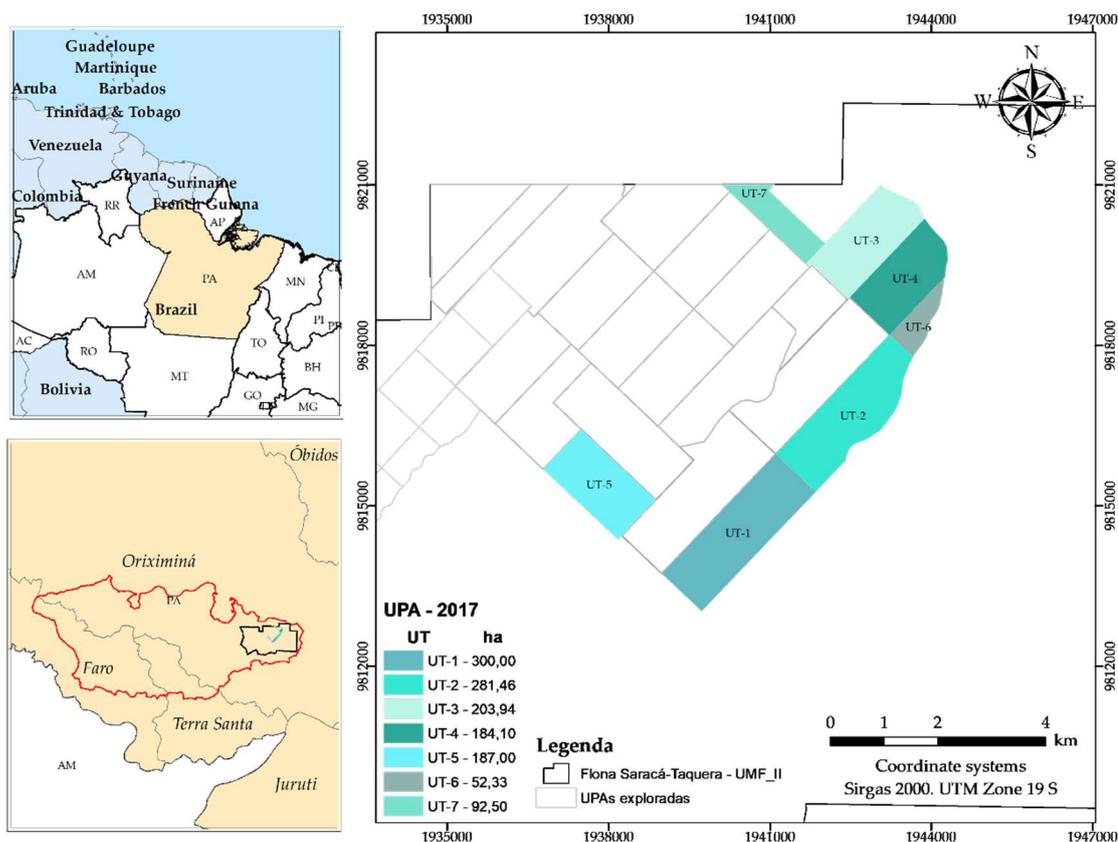
A área de desenvolvimento da pesquisa pertence à Floresta Nacional (FLONA) Saracá-Taquera, situada entre as coordenadas geográficas 1°20' e 1°55' de latitude Sul e 56°00' e 57°15' de longitude Oeste, Datum WGS 1984, localizada na margem direita do Rio Trombetas e inserida nos municípios de Faro, Oriximiná e Terra Santa. Limita-se ao norte com a Reserva Biológica do Rio Trombetas e tem como limite geográfico, em sua maior parte, o Rio Trombetas.

A Unidade de Manejo Florestal II (UMF-II) contida na FLONA Saracá-Taquera tem 25.546,00 hectares de área produtiva. O planejamento de sua exploração anual é de cerca de 1.000 hectares, na Unidade de Produção Anual (UPA), em que foram obtidos os dados em 2017. A área de manejo total foi de 1.302,16 ha, com área de preservação permanente (APP) de 63,34 ha e área efetiva de manejo de 1.238,82 ha. A UPA foi dividida em sete unidades de trabalho (UT) (Figura 4).

A exploração na área de estudo foi dividida em duas fases: pré-exploratória e exploratória. Na fase pré-exploratória foi definida a área a ser explorada, denominada UPA. A UPA foi dividida em áreas menores, denominadas UT.

As atividades da fase pré-exploratória compreenderam: a delimitação da UT; a abertura de picadas internas das UTs; o plaqueteamento das picadas de delimitação e internas das UTs; e o inventário censitário. A delimitação da UT consiste na abertura de trilhas referentes aos limites das UTs, e estas trilhas são denominadas picadas, sendo utilizadas na delimitação de áreas, na orientação de caminhamento durante o inventário censitário e na localização de árvores em campo em um sistema de coordenadas falsas (X, Y). A abertura de picadas internas das UTs compreende a abertura de picadas retilíneas e paralelas entre si, com espaçamento de 50 m, que têm a função de nortear o caminhamento e de definir a localização das árvores inventariadas.

Figura 4 – Localização da FLONA Saracá-Taquera, UMF-II e UPA/2017 - 1.302,16 hectares, Oriximiná, Pará, Brasil.



O plaqueteamento das picadas de delimitação e internas das UTs consiste em fixar estacas com plaquetas referentes a distância de 50 m em 50 m, acompanhando a linha da picada, iniciando em zero até o final da trilha. A definição das distâncias possibilita localizar a árvore em um sistema de coordenada falsa (X, Y), durante a atividade de inventário. Normalmente as picadas têm em média 1.000 m de comprimento.

O inventário censitário é o responsável pela coleta de informações referentes às variáveis dendrométricas, qualidade do fuste e estado fitossanitário de espécies comerciais, além de informações da área (relevo, hidrografia e áreas inadequadas para a exploração).

Já na fase exploratória, são iniciadas as atividades florestais na UPA. As atividades desta fase compreendem: o planejamento e a abertura de estrada florestal e do pátio de estocagem; o abate de árvore; o traçamento do fuste da árvore; a separação da copa e dos galhos mais grossos que tenham valor

econômico, caso haja o aproveitamento de resíduos; o planejamento de trilhas de arraste; o arraste de toras; e a identificação e mensuração das toras.

No planejamento e na abertura da estrada florestal e do pátio de estocagem ocorre a demarcação em campo da rota que o trator florestal irá percorrer para construir as estradas florestais e os pátios de estocagem.

A atividade de abate de árvore implica no corte das árvores selecionadas para serem colhidas. Nesta atividade, é realizado o teste do oco no fuste. Se a árvore estiver oca, não será cortada e pode ser substituída por outra. No traçamento do fuste ocorre o corte da árvore em toras com comprimento e diâmetros pré-estabelecidos.

Na atividade de planejamento de trilhas de arraste e arraste de toras há a demarcação em campo da rota que o trator florestal Skidder percorre, do pátio de estocagem até a tora da árvore que será arrastada. Importante destacar que o Skidder faz o percurso com a lâmina frontal erguida para evitar o revolvimento do solo durante seu trajeto.

A atividade de identificação e mensuração das toras, por sua vez, realizou a identificação das toras arrastadas e a medição do comprimento e do diâmetro nas extremidades da tora.

A composição das equipes que desenvolveram as atividades na UPA-2017 é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Atividades florestais, funções, número de funcionários, equipamentos e maquinário.

Atividade florestal	Função	Nº de funcionários	Equipamento e maquinário
Delimitação da UT	Operador de bússola	1	EPIs, trena, mapas, facão, lima chata, bússola, gps e garrafa d'água
	Auxiliar florestal	2	
Abertura de picada interna da UT	Auxiliar florestal	6	EPIs, facão, lima chata, garrafa d'água
Plaqueteamento de picada de delimitação e interna da UT	Auxiliar florestal	2	EPIs, plaqueta de picada, martelo, prego, facão, lima chata e garrafa d'água
Inventário censitário	Identificador botânico	1	EPIs, GPS, placa de inventário, prego, martelo, prancheta, ficha de inventário, lápis, borracha e garrafa d'água
	Anotador	1	
	Plaqueteador	1	
	Auxiliar florestal nas laterais	2	
Planejamento de estrada florestal e pátio de estocagem de madeira	Auxiliar técnico	1	EPIs, mapa, tecido TNT, facão, lima chata, fita, bússola e garrafa d'água
	Auxiliar florestal	1	
Abertura de estrada florestal e pátio de estocagem de madeira	Operador de trator	1	EPIs, trator de esteira D6, sabre de motosserra, corrente de motosserra, motosserra, lápis, borracha, facão, lima roliça, lima chata, garrafa d'água e bolsa motosserrista
	Motosserrista	1	
	Auxiliar florestal	1	
Abate de árvore	Motosserrista	1	EPIs, sabre de motosserra, corrente de motosserra, motosserra, lápis, borracha, mapa, facão, lima roliça, lima chata, garrafa d'água e bolsa motosserrista
	Auxiliar florestal	1	
Traçamento de árvore	Motosserrista	1	EPIs, sabre de motosserra, corrente de motosserra, motosserra, prancheta, lápis, borracha, facão, lima roliça, lima chata e bolsa motosserrista
	Auxiliar florestal	1	
Planejamento de arraste de tora	Auxiliar técnico	1	EPIs, trena, tecido TNT, prancheta, lápis, facão, lima chata, mapa
	Auxiliar florestal	1	

Atividade florestal	Função	Nº de funcionários	Equipamento e maquinário
Arraste de tora	Operador de trator Skidder	1	EPIs, trator Skidder, trator pá carregadeira e garrafa d'água
	Operador de pá mecânica	1	
Identificação/mensuração das toras	Medidor	1	EPIs, placa romaneio, lápis, borracha, impressão de planilha, prancheta, grampo, pistola de grampo, trena, giz de cera, tinta, pincel, motosserra, sabre de motosserra, corrente de motosserra, marcador industrial, lima roliça, lima chata, facão e bolsa motosserrista
	Anotador	1	
	Motosserrista	1	
	Pintor	1	
	Plaqueteador	1	
Equipe de Técnica	Auxiliar florestal	1	EPIs e material de escritório em geral
	Engenheiro florestal	1	
	Gerente de campo	1	
	Técnico florestal	1	
Mecânica e almoxarifado	Auxiliar administrativo	2	EPIs e equipamentos de mecânica e almoxarifado em geral
	Mecânico	1	
	Borracheiro	1	
Transporte das equipes de campo da exploração	Almoxarife	1	EPIs, ônibus, caminhonete, caminhão de abastecimento
	Motorista	1	
Equipe de Apoio	Porteiro/vigilante	1	EPIs, utensílios de cozinha, barco, material ambulatorial e material de escritório em geral
	Cozinheira	1	
	Auxiliar de cozinha	1	
	Carpinteiro	1	
	Piloto fluvial	1	
	Técnica de enfermagem	1	
	Tecnólogo em Gestão Ambiental	1	
	Assistente de Meio Ambiente	1	

6.2.4 Coeficientes de produção das atividades florestais

Há diferentes formas de planejamento da exploração utilizadas pelas empresas no manejo de florestas nativas na Amazônia. Pelo fato de a pesquisa se tratar de um levantamento pontual no ano de 2017, referente ao sistema de exploração empregado na área de estudo, foi obtido um coeficiente de produção para cada atividade florestal.

Dessa forma, os coeficientes de produção das atividades de exploração foram obtidos de três formas, a saber: entrevistas realizadas com a equipe técnica responsável (delimitação de UT, abertura de picada interna da UT, plaqueteamento de picada de delimitação e interna da UT, inventário censitário, planejamento de estrada florestal, planejamento de pátio de estocagem de madeira e planejamento de trilha de arraste); coleta de dados em arquivos de controle da produção (traçamento de árvore, identificação/mensuração de toras); e cálculo com base em informações coletadas em campo (abertura de pátio e estrada, abate de árvores e arraste de tora).

Para a coleta dos dados dos coeficientes de produção obtidos com informações de campo, foram utilizados: um cronômetro, uma trena de 50 m, um aparelho Global Positioning System (GPS) Garmin 76CSx e um rádio de comunicação.

Os coeficientes de produção obtidos em campo seguiram o planejamento tradicional de cada atividade. No caso da abertura de estradas e pátios iniciou com a abertura da estrada principal, com largura média de seis metros, que possui tráfego mais intenso de caminhões. E, posteriormente, quando chegou a um ponto de abertura da estrada secundária, foi realizada a sua abertura. A estrada secundária possui cerca de 500 m de extensão, em média quatro metros de largura, tem de dois a três pátios de estocagem ao longo de sua extensão e tem a função, de escoamento das toras dos pátios que foram abertos. Por fim, quando na abertura da estrada secundária o trator chega a um ponto de abertura de pátio, é realizada a abertura. Posteriormente, após terminar a abertura do pátio, continua-se a abertura da estrada secundária ou volta-se à abertura da estrada principal.

A abertura de estradas e pátios consiste em três etapas: remoção da vegetação com o trator; traçamento da galhada com a motosserra; e limpeza final com o trator. Para calcular o coeficiente de produção destas infraestruturas, foi cronometrado o tempo de cada etapa.

Para o cálculo do coeficiente de abate de árvores foi cronometrado o ciclo de abate dividido em: localização (deslocamento até a árvore), operações pré-abate (conferência com mapa, limpeza do fuste, teste do oco, abertura do caminho de fuga, estudo de direção de queda e avaliação de risco) e abate.

O coeficiente da atividade de arraste foi obtido com o auxílio de um aparelho GPS, que foi acoplado ao Skidder para monitorar seu percurso. Simultaneamente, foram coletadas informações do ciclo de arraste que consiste em: tempo de viagem vazio (deslocamento do pátio até a árvore), tempo de engate da tora (tempo decorrido da chegada do trator até o engate da tora) e tempo de viagem carregado (deslocamento do local da árvore até o pátio).

Um problema que ocorre ao se empregar o GPS é que, ao se movimentar de forma contínua junto ao trator, em alguns momentos, pode haver perda de sinal, o que gera descontinuidade no desenho do trajeto. Por outro lado, é normal que o trator utilize uma mesma trilha de arraste várias vezes para arrastar diferentes árvores. Admitindo-se que o trajeto mapeado pelo GPS para uma mesma trilha tenha se repetido várias vezes, para corrigir os erros de descontinuidade mencionados, foi feito um trabalho manual para identificar a

trilha mais provável seguida pelo trator, comparando todas as repetições e corrigindo as descontinuidades apresentadas.

De posse das informações das árvores que foram arrastadas e do percurso do Skidder, foi possível quantificar com precisão a distância individual de arraste de cada tora até o pátio de destino em ambiente de sistema de informação geográfica (SIG).

6.2.5 Estrutura dos custos de produção

Os custos fixos foram obtidos dos maquinários, dos equipamentos, de manutenções periódicas, de infraestrutura em geral do acampamento e mão de obra. Para obter os valores mensais dos custos fixos dos maquinários, foi adotada uma depreciação linear, de acordo com a Equação (8).

$$Dp = \frac{va - vr}{N} \quad (8)$$

Em que: Dp = depreciação (R\$.mês⁻¹); va = valor de aquisição do equipamento (R\$); vr = valor residual do equipamento (R\$) e N = vida útil do equipamento (meses).

Os custos variáveis foram obtidos junto à empresa por meio de arquivos de controle, notas fiscais de compra, e índices de consumo calculados em função do tempo de uso. Os itens que compuseram os custos variáveis foram combustível, peças e materiais de trabalho, incluindo os EPIs.

Os custos totais obtidos por meio de arquivos de controle de compra e produção foram compostos pelas fases pré-exploratória e exploratória e pelos custos advindos das demais estruturas e das equipes de campo. Assim, todos os custos foram dimensionados de acordo com a Tabela 1 para a exploração da UPA-2017.

Na avaliação dos custos da produção florestal foi considerada a exploração ocorrida no ano de 2017. Os custos foram obtidos por meio da soma dos custos fixos, dos custos variáveis e administrativos, sendo dimensionados para uma equipe em cada atividade por mês. O total dos custos operacionais das atividades foi utilizado para compor o custo de produção por atividade

(Tabela 2). E, em função da quantidade de equipes, foi estimado o custo total da atividade por mês.

Tabela 2 – Atividades florestais, custos mensais por equipe e depreciação.

Fase	Itens de custo	Custos (R\$.mês ⁻¹)*	Depreciação (R\$.mês ⁻¹)**
Pré-exploratória	Delimitação da UT	8.057,18	-
	Abertura de picada interna da UT	14.256,00	-
	Plaqueteamento de picada de delimitação e interna da UT	5.284,31	-
	Inventário censitário	12.724,60	-
Exploratória	Planejamento de estrada florestal e pátio de estocagem de madeira	5.159,98	-
	Abertura de estrada florestal e pátio de estocagem de madeira	39.110,91	10.099,06
	Abate de árvore	9.069,70	137,49
	Traçamento de árvore	8.717,20	137,49
	Planejamento de arraste de tora	5.409,74	-
	Arraste de tora	65.696,32	21.603,59
	Identificação/mensuração das toras	19.853,27	
Custos do projeto	Equipe Técnica	23.468,96	
	Mecânica e almoxarifado	10.891,90	
	Transporte das equipes de campo da exploração	16.986,36	5.066,38
	Equipe de Apoio	28.678,05	
	Estrutura geral	2.075,00	
	Energia (Motor)	5.593,47	

*custos mensais por equipe: salários, custos variáveis e fixos, com base no turno de trabalho de 8,5 horas e 20 dias efetivos de trabalho por mês; **custos mensais: depreciação de maquinário (tratores e motosserras) quando não estão em atividade.

Foi adicionado 5% de custos administrativos diversos sobre os custos totais da produção. Também foi adicionado ao custo de produção final o valor pago por m³ de madeira ao Serviço Florestal Brasileiro (SFB), sendo de R\$ 131,21 por m³ de madeira em tora e R\$ 11,22 por m³ de resíduo florestal (SFB, 2017).

6.2.6 Análise de dados

As atividades do MFS ocorreram ao longo de um ano, de modo que cada período compreendeu um mês de produção. Por este motivo, foram atualizados os custos para o início do período, com taxa de juros de 0,48% ao mês, conforme a Equação 9.

$$VPC = \sum_{i=0}^n \frac{C_t}{(1+i)^t} \quad (9)$$

Em que: VPC = valor presente dos custos do MFS; C_t = valor do custo, ocorrida no mês t e i = taxa de juros (a.m).

Os custos foram contabilizados para a madeira em tora posta no pátio de estocagem. De posse dos valores, foram analisadas duas estruturas de custos para os custos totais e custos médios (Equação 10), sendo a primeira em função do tempo de cada atividade relatada na entrevista com a equipe técnica e a segunda em função do tempo estimado pelos coeficientes de produção. Em cada estrutura também foram analisadas a presença e a ausência dos custos de depreciação dos equipamentos (veículos de transporte, tratores e motosserras) nos meses em que não ocorre a atividade florestal.

$$CMP_r = \frac{\sum_{j=1}^n C_j}{\sum_{j=1}^n Q_j} \quad (10)$$

Em que: CMP_r = custo médio de produção (R\$.m⁻³ e R\$.ha⁻¹); C_j = custo no período; Q_j = Quantidade produzida no período j (m³ e ha); j = período de ocorrência dos custos e das quantidades produzidas; e n = número total de períodos do horizonte de planejamento do projeto.

6.3 RESULTADOS

6.3.1 Coeficientes de produção das atividades florestais

Na Tabela 3, são apresentados os valores dos coeficientes de produção obtidos em cada atividade.

Tabela 3 – Coeficientes de produção das atividades florestais.

Fase	Atividade florestal	Unidade	Valor	
Pré-exploratória	Delimitação da UT	km.mês ⁻¹	48,00 ¹	
	Abertura de picada interna da UT	km.mês ⁻¹	95,00 ¹	
	Plaqueamento de picada de delimitação e interna da UT	km.mês ⁻¹	144,00 ¹	
	Inventário censitário	ha.mês ⁻¹	720,00 ¹	
Planejamento de estrada florestal e pátio de estocagem de madeira *				
Exploratória	Planejamento de estrada florestal	km.mês ⁻¹	32,00 ¹	
	Planejamento de pátio de estocagem de madeira	pátio.mês ⁻¹	64,00 ¹	
	Abertura de estrada florestal e pátio de estocagem de madeira *			
	Estrada principal	m.h ⁻¹	124,19 ²	
	Estrada secundária	m.h ⁻¹	251,00 ²	

Fase	Atividade florestal	Unidade	Valor
	Pátio de estocagem de madeira	h.pátio ⁻¹	1,20 ²
	Abate de árvore	árv.dia ⁻¹	21,75 ²
	Traçamento de árvore	árv.dia ⁻¹	37,80 ³
	Planejamento de arraste de tora	árv.dia ⁻¹	51,62 ³
	Arraste de toras	m ³ .h ⁻¹	38,50 ²
	Identificação/mensuração das toras	árv.dia ⁻¹	54,40 ³

¹ entrevistas realizadas com a equipe técnica responsável; ² informações colhidas em campo; ³ informações obtidas em arquivos de controle da produção; *o planejamento das estradas e pátios não são dissociados, o que resulta em custo e produtividade associada a uma única atividade.

O planejamento e a abertura de estradas florestais e de pátios de estocagem de madeira ocorrem de forma sequenciada, como citado anteriormente no item 6.2.4. Como pode ser observado na Tabela 4, o total planejado de estradas florestais foi de 32,23 km e 97 pátios de estocagem de madeira. Ao realizar a estimativa por meio do coeficiente de produção, o planejamento de estradas florestais demandaria 1,01 meses e o planejamento dos pátios 1,51 meses. Desse modo, para estimar o tempo necessário para realizar o planejamento de estradas e de pátios foi utilizada a média, 1,26 meses. O mesmo critério foi adotado para estimar o tempo necessário para a abertura de estradas e pátios de estocagem.

Tabela 4 – Quantidade de UTs, pátio, área de manejo florestal, APP, área efetiva de manejo florestal, picadas, estradas principais, estradas secundárias, trilhas de arraste, volume de madeira em tora e volume de resíduos florestais da UPA-2017.

UT	Pátio	Perímetro (km) ¹	Área (ha) ¹	APP (ha) ¹	Área efetiva (ha) ¹	Total picadas (km) ¹	Estrada principal (km) ¹	Estrada secundária (km) ¹	Estimativa de trilha (km) ²	Árvores exploradas ³	Total em tora (m ³) ²	Total m ³ resíduo ³
1	24	8,00	299,99	-	299,99	60,00	-	-	345,67	1108	6.846,97	555,02
2	18	7,75	281,46	23,65	257,81	54,54	-	-	259,25	1202	6.027,96	370,31
3	16	6,10	203,94	5,57	198,37	40,48	-	-	230,45	703	3.895,99	328,58
4	14	5,65	184,94	15,42	169,52	37,00	-	-	201,64	731	4.051,92	325,01
5	16	5,74	187,00	-	187,00	37,40	-	-	230,45	666	3.901,51	202,25
6	3	3,65	52,33	5,04	47,29	10,92	-	-	43,21	129	519,33	16,48
7	6	5,09	92,50	13,66	78,84	17,49	-	-	86,42	190	899,31	28,65
Total	97,00	41,98	1.302,16	63,34	1.238,82	257,83	12,91	19,32	1397,09	4.729	26.142,99	1.826,29

¹valores de acordo com o planejamento protocolado no órgão responsável; ²estimativa considerando a média de trilhas de arraste por pátio; e ³valores obtidos após o cômputo final dos dados da exploração.

6.3.2 Estrutura dos custos de produção em função do tempo de atividade relatado na entrevista com a equipe técnica

Na Tabela 95 e Tabela 106 são apresentados os custos mensais dos meses de atividade relatado pela a equipe técnica.

Tabela 5 – Fluxo de caixa dos custos mensais (R\$), com valores de depreciação, de acordo com a equipe técnica.

Fase	Itens de custo	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Nº de equipes	
		Custo variável													
Pré-exploratória	Delimitação de UT	8.057,18	8.057,18	8.057,18										1	
	Abertura de picada interna da UT		14.256,00	14.256,00	14.256,00									1	
	Plaqueteamento de picada de delimitação e interna da UT		5.284,31	5.284,31	5.284,31									1	
	Inventário censitário		12.724,60	12.724,60	12.724,60	12.724,60	12.724,60							1	
Exploratória	Planejamento de estrada florestal e pátio de estocagem de madeira						5.159,98	5.159,98						1	
	Abertura de estrada florestal e pátio de estocagem de madeira	10.099,06	10.099,06	10.099,06	10.099,06	10.099,06	39.110,91	39.110,91	10.099,06	10.099,06	10.099,06	10.099,06	10.099,06	1	
	Abate de árvore	549,94	549,94	549,94	549,94	549,94	36.278,80	36.278,80	36.278,80	549,94	549,94	549,94	549,94	4	
	Traçamento de árvore	412,46	412,46	412,46	412,46	412,46	26.151,60	26.151,60	26.151,60	412,46	412,46	412,46	412,46	3	
	Planejamento de arraste de tora						5.409,74	5.409,74	5.409,74	5.409,74				1	
	Arraste de tora	21.603,59	21.603,59	21.603,59	21.603,59	21.603,59	21.603,59	65.696,32	65.696,32	65.696,32	65.696,32	65.696,32	21.603,59	21.603,59	1
	Identificação/mensuração das toras							19.853,27	19.853,27	19.853,27	19.853,27	19.853,27			1
Custos do projeto		Custo fixo													
	Equipe técnica	23.468,96	23.468,96	23.468,96	23.468,96	23.468,96	23.468,96	23.468,96	23.468,96	23.468,96	23.468,96	23.468,96	23.468,96	23.468,96	1
	Mecânica e almoxarifado	10.891,90	10.891,90	10.891,90	10.891,90	10.891,90	10.891,90	10.891,90	10.891,90	10.891,90	10.891,90	10.891,90	10.891,90	1	
	Veículos de transporte e apoio das equipes de campo da exploração	5.066,38	5.066,38	5.066,38	5.066,38	5.066,38	16.986,36	16.986,36	16.986,36	16.986,36	5.066,38	5.066,38	5.066,38	1	
	Equipe de Apoio	28.678,05	28.678,05	28.678,05	28.678,05	28.678,05	28.678,05	28.678,05	28.678,05	28.678,05	28.678,05	28.678,05	28.678,05	1	
	Estrutura Geral	2.075,00	2.075,00	2.075,00	2.075,00	2.075,00	2.075,00	2.075,00	2.075,00	2.075,00	2.075,00	2.075,00	2.075,00	1	
	Energia (Motor)	5.593,47	5.593,47	5.593,47	5.593,47	5.593,47	5.593,47	5.593,47	5.593,47	5.593,47	5.593,47	5.593,47	5.593,47	1	
	Custos do projeto (adversos 0,5 %)	582,48	1.487,61	1.487,61	1.407,04	1.211,63	2.214,08	2.853,54	2.511,83	1.897,15	1.723,85	1.084,39	1.084,39	1	
	Custo da madeira paga ao SFB (m³)							795.727,94	1.076.129,23	746.942,63	831.912,70				
	Total	117.078,47	150.248,52	150.248,52	142.110,76	122.375,05	223.622,45	1.083.935,85	1.329.823,58	938.554,30	1.006.021,35	109.523,20	109.523,20		

*considerou-se os meses em que os custos ocorreram no ano de 2017 e a quantidade de meses necessários para execução de cada atividade relatado pela equipe técnica.

Tabela 6 – Fluxo de caixa dos custos mensais (R\$), sem valores de depreciação, de acordo com a equipe técnica.

Fase	Itens de custo	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Nº de equipes	
		Custo variável													
Pré-exploratória	Delimitação de UT	8.057,18	8.057,18	8.057,18										1	
	Abertura de picada interna da UT		14.256,00	14.256,00	14.256,00									1	
	Plaqueamento de picada de delimitação e interna da UT		5.284,31	5.284,31	5.284,31									1	
	Inventário censitário		12.724,60	12.724,60	12.724,60	12.724,60								1	
Exploratória	Planejamento de estrada florestal e pátio de estocagem de madeira						5.159,98	5.159,98						1	
	Abertura de estrada florestal e pátio de estocagem de madeira						39.110,91	39.110,91						1	
	Abate de árvore						36.278,80	36.278,80	36.278,80					4	
	Taçamento de árvore						26.151,60	26.151,60	26.151,60					3	
	Planejamento de arraste de tora						5.409,74	5.409,74	5.409,74	5.409,74				1	
	Arraste de tora							65.696,32	65.696,32	65.696,32	65.696,32	65.696,32			1
	Identificação/mensuração das toras							19.853,27	19.853,27	19.853,27	19.853,27	19.853,27			1
		Custo fixo													
Custos do projeto	Equipe técnica	23.468,96	23.468,96	23.468,96	23.468,96	23.468,96	23.468,96	23.468,96	23.468,96	23.468,96	23.468,96	23.468,96	23.468,96	1	
	Mecânica e almoxarifado	10.891,90	10.891,90	10.891,90	10.891,90	10.891,90	10.891,90	10.891,90	10.891,90	10.891,90	10.891,90	10.891,90	10.891,90	1	
	Veículos de transporte e apoio das equipes de campo da exploração						16.986,36	16.986,36	16.986,36	16.986,36				1	
	Equipe de Apoio	28.678,05	28.678,05	28.678,05	28.678,05	28.678,05	28.678,05	28.678,05	28.678,05	28.678,05	28.678,05	28.678,05	28.678,05	1	
	Estrutura Geral	2.075,00	2.075,00	2.075,00	2.075,00	2.075,00	2.075,00	2.075,00	2.075,00	2.075,00	2.075,00	2.075,00	2.075,00	1	
	Energia (Motor)	5.593,47	5.593,47	5.593,47	5.593,47	5.593,47	5.593,47	5.593,47	5.593,47	5.593,47	5.593,47	5.593,47	5.593,47	1	
	Custos do projeto (adversos 0,5 %)	393,82	1.110,29	1.110,29	1.029,72	834,32	1.998,05	2.853,54	2.410,83	1.786,53	1.562,57	707,07	707,07	1	
	Custo da madeira paga ao SFB (m³)							795.727,94	1.076.129,23	746.942,63	831.912,70				
Total	79.158,38	112.139,77	112.139,77	104.002,02	84.266,30	201.802,82	1.083.935,85	1.319.623,54	927.382,23	989.732,24	71.414,45	71.414,45			

*considerou-se os meses em que os custos ocorreram no ano de 2017 e a quantidade de meses necessários para execução de cada atividade relatado pela equipe técnica.

Dentre as atividades de maior custo mensal, durante a exploração florestal, estão o arraste de toras, o abate de árvores e a abertura de estradas florestais e de pátios de estocagem de madeira.

Com base nos valores totais da produção da UPA-2017 (Tabela 4) foi possível definir os custos por metro cúbico produzido e por hectare explorado, considerando a presença e ausência dos custos de depreciação (Tabela 11 e Tabela 12, respectivamente).

Considerando os custos de depreciação, em meses sem atividade florestal, em função do VPC, o valor do CMP do m³ de madeira em tora explorado posta no pátio foi de R\$ 193,35 por m³ e o custo de exploração por hectare foi de R\$ 4.365,30 (Tabela 7).

Tabela 7 – Custos das atividades por m³ e por hectare considerando os custos de depreciação em meses sem atividade florestal, no ano de 2017.

Fase	Itens de custo	Custo corrente (R\$)	VPC (R\$)	Custo corrente (R\$.m ⁻³)	VPC (R\$.m ⁻³)	Custo corrente (R\$.ha ⁻¹)	VPC (R\$.ha ⁻¹)
Pré-exploratória	Delimitação de UT	24.171,55	24.054,65	0,86	0,86	19,51	19,42
	Abertura de picada interna da UT	42.768,01	42.561,18	1,53	1,52	34,52	34,36
	Plaqueamento de picada de delimitação e interna da UT	15.852,92	15.776,25	0,57	0,56	12,80	12,73
	Inventário censitário	50.898,42	50.529,78	1,82	1,81	41,09	40,79
Exploratória	Planejamento de estrada florestal e pátio de estocagem de madeira	10.319,96	10.294,96	0,37	0,37	8,33	8,31
	Abertura de estrada florestal e pátio de estocagem de madeira	179.212,38	174.506,32	6,41	6,24	144,66	140,86
	Abate de árvore	113.785,90	110.535,94	4,07	3,95	91,85	89,23
	Taçamento de árvore	82.166,93	79.820,53	2,94	2,85	66,33	64,43
	Planejamento de arraste de tora	21.638,97	21.482,25	0,77	0,77	17,47	17,34
	Arraste de tora	435.614,03	422.512,59	15,57	15,11	351,64	341,06
	Identificação/mensuração das toras	79.413,07	78.837,92	2,84	2,82	64,10	63,64
Custos do projeto	Equipe técnica	281.627,51	274.244,27	10,07	9,81	227,34	221,38
	Mecânica e almoxarifado	130.702,84	127.276,29	4,67	4,55	105,51	102,74
	Veículos de transporte e apoio das equipes de campo da exploração	108.476,49	105.401,92	3,88	3,77	87,56	85,08
	Equipe de Apoio	344.136,59	335.114,59	12,30	11,98	277,79	270,51
	Estrutura Geral	24.900,00	24.247,21	0,89	0,87	20,10	19,57
	Energia (Motor)	67.121,60	65.361,92	2,40	2,34	54,18	52,76
	Custos do projeto (adversos 0.5 %)	19.545,59	19.007,57	0,70	0,68	15,78	15,34
	Custo da madeira paga ao SFB (m ³)	3.450.712,50	3.426.250,13	123,38	122,50	2.785,48	2.765,74
	Total	5.483.065,26	5.407.816,29	196,04	193,35	4.426,04	4.365,30

Ao avaliar os custos, sem considerar os custos de depreciação, em função do VPC, o valor do CMP do m³ de madeira em tora explorado posta no pátio foi de R\$ 182,41 por m³ e o custo de exploração por hectare foi de R\$ 4.118,40 (Tabela 12).

Tabela 8 – Custos das atividades por m³ e por hectare sem considerar os custos de depreciação em meses sem atividade florestal, no ano de 2017.

Fase	Itens de custo	Custo corrente (R\$)	VPC (R\$)	Custo corrente (R\$.m ⁻¹)	VPC (R\$.m ³)	Custo corrente (R\$.ha ⁻¹)	VPC (R\$.ha ⁻¹)
Pré-exploratória	Delimitação de UT	24.171,55	24.054,65	0,86	0,86	19,51	19,42
	Abertura de picada interna da UT	42.768,01	42.561,18	1,53	1,52	34,52	34,36
	Plaqueamento de picada de delimitação e interna da UT	15.852,92	15.776,25	0,57	0,56	12,80	12,73
	Inventário censitário	50.898,42	50.529,78	1,82	1,81	41,09	40,79
Exploratória	Planejamento de estrada florestal e pátio de estocagem de madeira	10.319,96	10.294,96	0,37	0,37	8,33	8,31
	Abertura de estrada florestal e pátio de estocagem de madeira	78.221,83	77.654,39	2,80	2,78	63,14	62,68
	Abate de árvore	108.836,41	107.785,41	3,89	3,85	87,85	87,01
	Traçamento de árvore	78.454,81	77.697,20	2,81	2,78	63,33	62,72
	Planejamento de arraste de tora	21.638,97	21.482,25	0,77	0,77	17,47	17,34
	Arraste de tora	262.785,29	259.618,35	9,40	9,28	212,13	209,57
	Identificação/mensuração das toras	79.413,07	78.837,92	2,84	2,82	64,10	63,64
	Equipe técnica	281.627,51	274.244,27	10,07	9,81	227,34	221,38
	Mecânica e almoxarifado	130.702,84	127.276,29	4,67	4,55	105,51	102,74
Custos do projeto	Veículos de transporte e apoio das equipes de campo da exploração	67.945,43	67.126,59	2,43	2,40	54,85	54,19
	Equipe de Apoio	344.136,59	335.114,59	12,30	11,98	277,79	270,51
	Estrutura Geral	24.900,00	24.247,21	0,89	0,87	20,10	19,57
	Energia (Motor)	67.121,60	65.361,92	2,40	2,34	54,18	52,76
	Custos do projeto (adversos 0.5 %)	16.504,13	16.041,48	0,59	0,57	13,32	12,95
	Custo da madeira paga ao SFB (m ³)	3.450.712,50	3.426.250,13	123,38	122,50	2.785,48	2.765,74
	Total	5.157.011,82	5.101.954,82	184,38	182,41	4.162,84	4.118,40

6.3.3 Estrutura dos custos de produção em função do tempo de atividade estimado pelos coeficientes de produtividade

A quantidade de meses necessários em cada atividade foi estimada por meio dos coeficientes de produção das atividades florestais (Tabela 3). Na Tabela 9 e Tabela 10 são apresentados os custos mensais dos meses de atividade calculados pelos coeficientes de produção.

Tabela 9 – Fluxo de caixa dos custos mensais (R\$), com valores de depreciação, de acordo com os coeficientes de produção das atividades florestais.

Fase	Itens de custo	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	N° de equipes	Quantidade de meses por atividade*
		Custo variável													Und.
Pré-exploratória	Delimitação de UT	7.046,68												1	0,87
	Abertura de picada interna da UT		14.256,00	14.256,00	10.175,78									1	2,71
	Plaqueamento de picada de delimitação e interna da UT		5.284,31	5.284,31	433,39									1	2,08
	Inventário censitário		12.724,60	10.288,55										1	1,81
Exploratória	Planejamento de estrada florestal e pátio de estocagem de madeira						5.159,98	1.348,85						1	1,26
	Abertura de estrada florestal e pátio de estocagem de madeira	10.099,06	10.099,06	10.099,06	10.099,06	10.099,06	39.110,91	29.087,09	10.099,06	10.099,06	10.099,06	10.099,06	10.099,06	1	1,74
	Abate de árvore	549,94	549,94	549,94	549,94	549,94	36.278,80	36.278,80	26.041,51	549,94	549,94	549,94	549,94	4	2,72
	Taçamento de árvore	412,46	412,46	412,46	412,46	412,46	26.151,60	26.151,60	2.225,42	412,46	412,46	412,46	412,46	3	2,09
	Planejamento de arraste de tora						5.409,74	5.409,74	5.409,74	5.409,74	3.140,84			1	4,58
	Arraste de tora	21.603,59	21.603,59	21.603,59	21.603,59	21.603,59	21.603,59	65.696,32	65.696,32	65.696,32	65.696,32	17.960,14	21.603,59	1	4,27
	Identificação/mensuração das toras							19.853,27	19.853,27	19.853,27	19.853,27	6.879,30		1	4,35
Custos do projeto	Custo fixo														
	Equipe técnica	23.468,96	23.468,96	23.468,96	23.468,96	23.468,96	23.468,96	23.468,96	23.468,96	23.468,96	23.468,96	23.468,96	23.468,96	1	
	Mecânica e almoxarifado	10.891,90	10.891,90	10.891,90	10.891,90	10.891,90	10.891,90	10.891,90	10.891,90	10.891,90	10.891,90	10.891,90	10.891,90	1	
	Veículos de transporte e apoio das equipes de campo da exploração	5.066,38	5.066,38	5.066,38	5.066,38	5.066,38	16.986,36	16.986,36	16.986,36	16.986,36	5.066,38	5.066,38	5.066,38	1	
	Equipe de Apoio	28.678,05	28.678,05	28.678,05	28.678,05	28.678,05	28.678,05	28.678,05	28.678,05	28.678,05	28.678,05	28.678,05	28.678,05	1	
	Estrutura Geral	2.075,00	2.075,00	2.075,00	2.075,00	2.075,00	2.075,00	2.075,00	2.075,00	2.075,00	2.075,00	2.075,00	2.075,00	1	
	Energia (Motor)	5.593,47	5.593,47	5.593,47	5.593,47	5.593,47	5.593,47	5.593,47	5.593,47	5.593,47	5.593,47	5.593,47	5.593,47	1	
	Custos do projeto (adversos 0.5 %)	577,43	1.407,04	1.382,68	1.190,48	1.084,39	2.214,08	2.715,19	2.170,19	1.897,15	1.755,26	1.116,75	1.084,39	1	
	Custo da madeira paga ao SFB (m³)							795.727,94	1.076.129,23	746.942,63	831.912,70				
	Total	116.062,92	142.110,76	139.650,35	120.238,46	109.523,20	223.622,45	1.069.962,55	1.295.318,47	938.554,30	1.009.193,60	112.791,41	109.523,20		

*considerou-se os meses em que os custos ocorreram no ano de 2017 e a quantidade de meses necessários para execução de cada atividade estimados pelos coeficientes de rendimento das atividades florestais (Tabela 3) em função do total da infraestrutura e produção (Tabela 4).

Tabela 10 – Fluxo de caixa dos custos mensais (R\$), sem valores de depreciação, de acordo com os coeficientes de produção das atividades florestais.

Fase	Itens de custo	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Nº de equipes	Quantidade de meses por atividade*				
		Custo variável													Und.	Und.			
Pré-exploratória	Delimitação de UT	7,046.68												1	0,87				
	Abertura de picada interna da UT		14,256.00	14,256.00	10,175.78									1	2,71				
	Plaqueamento de picada de delimitação e interna da UT		5,284.31	5,284.31	433.39									1	2,08				
	Inventário censitário		12,724.60	10,288.55										1	1,81				
Exploratória	Planejamento de estrada florestal e pátio de estocagem de madeira						5,159.98	1,348.85						1	1,26				
	Abertura de estrada florestal e pátio de estocagem de madeira						39,110.91	29,087.09						1	1,74				
	Abate de árvore						36,278.80	36,278.80	26,041.51					4	2,72				
	Traçamento de árvore						26,151.60	26,151.60	2,225.42					3	2,09				
	Planejamento de arraste de tora						5,409.74	5,409.74	5,409.74	5,409.74	3,140.84			1	4,58				
	Arraste de tora							65,696.32	65,696.32	65,696.32	65,696.32	17,960.14		1	4,27				
	Identificação/mensuração das toras							19,853.27	19,853.27	19,853.27	19,853.27	6,879.30		1	4,35				
								Custo fixo											
Custos do projeto	Equipe técnica	23,468.96	23,468.96	23,468.96	23,468.96	23,468.96	23,468.96	23,468.96	23,468.96	23,468.96	23,468.96	23,468.96	23,468.96	1					
	Mecânica e almoxarifado	10,891.90	10,891.90	10,891.90	10,891.90	10,891.90	10,891.90	10,891.90	10,891.90	10,891.90	10,891.90	10,891.90	10,891.90	1					
	Veículos de transporte e apoio das equipes de campo da exploração	5,066.38	5,066.38	5,066.38	5,066.38	5,066.38	16,986.36	16,986.36	16,986.36	16,986.36	5,066.38	5,066.38	5,066.38	1					
	Equipe de Apoio	28,678.05	28,678.05	28,678.05	28,678.05	28,678.05	28,678.05	28,678.05	28,678.05	28,678.05	28,678.05	28,678.05	28,678.05	1					
	Estrutura Geral	2,075.00	2,075.00	2,075.00	2,075.00	2,075.00	2,075.00	2,075.00	2,075.00	2,075.00	2,075.00	2,075.00	2,075.00	1					
	Energia (Motor)	5,593.47	5,593.47	5,593.47	5,593.47	5,593.47	5,593.47	5,593.47	5,593.47	5,593.47	5,593.47	5,593.47	5,593.47	1					
	Custos do projeto (adversos 0.5 %)	414.10	1,080.39	1,056.03	863.83	757.74	1,998.05	2,715.19	2,069.20	1,786.53	1,644.64	1,006.13	757.74	1					
	Custo da madeira paga ao SFB (m³)							795,727.94	1,076,129.23	746,942.63	831,912.70								
	Total	83,234.54	109,119.06	106,658.65	87,246.76	76,531.50	201,802.82	1,069,962.55	1,285,118.43	927,382.23	998,021.53	101,619.34	76,531.50						

*considerou-se os meses em que os custos ocorreram no ano de 2017 e a quantidade de meses necessários para execução de cada atividade estimados pelos coeficientes de rendimento das atividades florestais (Tabela 3) em função do total da infraestrutura e produção (Tabela 4).

Com base nos valores totais da UPA-2017 (Tabela 4), foi possível definir os custos por metro cúbico produzido e por hectare explorado, considerando a presença e ausência dos custos de depreciação (Tabela 11 e Tabela 12).

Considerando os custos de depreciação em meses sem atividade florestal, em função do VPC, o valor do CPM do m³ de madeira em tora explorado posta no pátio foi de R\$ 189,97 por m³ e o custo de exploração por hectare foi de R\$ 4.288,98 (Tabela 11).

Tabela 11 – Custos das atividades por m³ e por hectare considerando os custos de depreciação em meses sem atividade florestal, no ano de 2017.

Fase	Itens de custo	Custo corrente (R\$)	VPC (R\$)	Custo corrente (R\$.m ³ ⁻¹)	VPC (R\$.ha ⁻¹)	Custo corrente (R\$.ha ⁻¹)	VPC (R\$.ha ⁻¹)
Pré-exploratória	Delimitação de UT	7.046,68	7.046,68	0,25	0,25	5,69	5,69
	Abertura de picada interna da UT	38.687,79	38.520,39	1,38	1,38	31,23	31,09
	Plaqueamento de picada de delimitação e interna da UT	11.002,00	10.972,22	0,39	0,39	8,88	8,86
	Inventário censitário	23.013,15	22.963,32	0,82	0,82	18,58	18,54
Exploratória	Planejamento de estrada florestal e pátio de estocagem de madeira	6.508,83	6.502,30	0,23	0,23	5,25	5,25
	Abate de árvore	169.188,56	164.770,32	6,05	5,89	136,57	133,01
	Traçamento de árvore	103.548,61	100.640,77	3,70	3,60	83,59	81,24
	Planejamento de arraste de tora	58.240,75	56.693,94	2,08	2,03	47,01	45,76
	Arraste de tora	24.779,81	24.562,68	0,89	0,88	20,00	19,83
	Identificação/mensuração das toras	431.970,57	419.041,83	15,44	14,98	348,70	338,26
		86.292,37	85.584,89	3,09	3,06	69,66	69,09
Custos do projeto	Equipe técnica	281.627,51	274.244,27	10,07	9,81	227,34	221,38
	Mecânica e almoxarifado	130.702,84	127.276,29	4,67	4,55	105,51	102,74
	Veículos de transporte e apoio das equipes de campo da exploração	108.476,49	105.401,92	3,88	3,77	87,56	85,08
	Equipe de Apoio	344.136,59	335.114,59	12,30	11,98	277,79	270,51
	Estrutura Geral	24.900,00	24.247,21	0,89	0,87	20,10	19,57
	Energia (Motor)	67.121,60	65.361,92	2,40	2,34	54,18	52,76
	Custos do projeto (adversos 0.5 %)	18.595,01	18.076,49	0,66	0,65	15,01	14,59
	Custo da madeira paga ao SFB (m ³)	3.450.712,50	3.426.250,13	123,38	122,50	2.785,48	2.765,74
	Total	5.386.551,67	5.313.272,16	192,59	189,97	4.348,13	4.288,98

Ao avaliar os custos, sem considerar a depreciação na ausência de atividade florestal, em função do VPC, o valor do m³ de madeira em tora explorado posta no pátio foi de R\$ 181,41 por m³ e o custo de exploração por hectare foi de R\$ 4.089,72 (Tabela 12).

Tabela 12 – Custos das atividades por m³ e por hectare sem considerar os custos de depreciação em meses sem atividade florestal, no ano de 2017.

Fase	Itens de custo	Custo corrente (R\$)	VPC (R\$)	Custo corrente (R\$.m ³ ⁻¹)	VPC (R\$.m ³ ⁻¹)	Custo corrente (R\$.ha ⁻¹)	VPC (R\$.ha ⁻¹)	
Pré-exploratória	Delimitação de UT	7.046,68	7.046,68	0,25	0,25	5,69	5,69	
	Abertura de picada interna da UT	38.687,79	38.520,39	1,38	1,38	31,23	31,09	
	Plaqueamento de picada de delimitação e interna da UT	11.002,00	10.972,22	0,39	0,39	8,88	8,86	
	Inventário censitário	23.013,15	22.963,32	0,82	0,82	18,58	18,54	
Exploratória	Planejamento de estrada florestal e pátio de estocagem de madeira	6.508,83	6.502,30	0,23	0,23	5,25	5,25	
	Abertura de estrada florestal e pátio de estocagem de madeira	68.198,01	67.727,44	2,44	2,42	55,05	54,67	
	Abate de árvore	98.599,11	97.696,16	3,53	3,49	79,59	78,86	
	Traçamento de árvore	54.528,63	54.117,03	1,95	1,93	44,02	43,68	
	Planejamento de arraste de tora	24.779,81	24.562,68	0,89	0,88	20,00	19,83	
	Arraste de tora	280.745,42	277.147,69	10,04	9,91	226,62	223,72	
	Identificação/mensuração das toras	86.292,37	85.584,89	3,09	3,06	69,66	69,09	
Fase	Itens de custo	Custo corrente (R\$)	VPC (R\$)	Custo corrente (R\$.m ³ ⁻¹)	VPC (R\$.m ³ ⁻¹)	Custo corrente (R\$.ha ⁻¹)	VPC (R\$.ha ⁻¹)	
Custos do projeto	Equipe técnica	281.627,51	274.244,27	10,07	9,81	227,34	221,38	
	Mecânica e almoxarifado	130.702,84	127.276,29	4,67	4,55	105,51	102,74	
	Veículos de transporte e apoio das equipes de campo da exploração	108.476,49	105.401,92	3,88	3,77	87,56	85,08	
	Equipe de Apoio	344.136,59	335.114,59	12,30	11,98	277,79	270,51	
	Estrutura Geral	24.900,00	24.247,21	0,89	0,87	20,10	19,57	
	Energia (Motor)	67.121,60	65.361,92	2,40	2,34	54,18	52,76	
	Custos do projeto (adversos 0.5 %)	16.149,57	15.686,52	0,58	0,56	13,04	12,66	
	Custo da madeira paga ao SFB (m ³)	3.450.712,50	3.426.250,13	123,38	122,50	2.785,48	2.765,74	
		Total	5.123.228,91	5.066.423,65	183,17	181,14	4.135,57	4.089,72

6.4 DISCUSSÃO

6.4.1 Coeficientes de produção das atividades florestais

Os coeficientes de produção são importantes para dimensionar e planejar a exploração florestal. Na Amazônia, são variadas as formas de planejamento e dinâmica de trabalho durante o MFS, o que dificulta a comparação entre a produtividade das atividades florestais.

É válido ressaltar que há uma diferença entre coeficiente técnico e produtividade. Segundo Alvim et al. (2011), o coeficiente técnico deve ser a relação da quantidade gasta de insumo para produzir determinado produto, e produtividade é a quantidade produzida por unidade de insumo em um determinado tempo.

Na Tabela 13 é apresentado um resumo da comparação de resultados de pesquisas com os valores de produtividade obtidos na pesquisa (Tabela 3), convertidos em coeficientes técnicos.

Tabela 13 – Comparação de coeficientes técnicos das atividades de manejo florestal, categoria pleno com os dados da pesquisa.

Fase	Atividade	Unidade*	Medina; Pokorny (2008) ¹			Thaines (2010) ²	Braz (2010) ³	Figueiredo; Lima (2008) ⁴	Holmes et al. (2002b) ⁵	Barreto; Vidal; Uhl (1998) ⁵	Thaines (2013)					Dados da pesquisa
			Ambé 2007	ASPD 2007	Cachoeira 2007	Cachoeira 2010	ST Manejo	MODEFLORA	IFT	Paragominas	Associação Cachoeira e Fé em Deus	ASPD	Ambé	Associação Arimum	PDS Virtola Jatobá	Saracá-Taquera (UMF-II)
Pré-exploratória	Delimitação da área de exploração	Hd.ha ⁻¹	0,10	0,30	0,20		0,16		0,36	0,87						0,0405
	Abertura de picadas de orientação	Hd.ha ⁻¹	0,30	0,60	0,60	0,20	0,33	0,20		0,38	0,27	0,33	0,84	1,43	0,84	0,0250
	Sinalização das picadas de orientação	Hd.ha ⁻¹	0,10				0,22									0,0550
	Levantamento das árvores (IF100%)	Hd.ha ⁻¹	0,50	0,30	0,60	0,27	0,66	0,12	0,42	0,30	0,20	0,25				0,1300
	Microzoneamento	Hd.ha ⁻¹				0,02		0,02		-	0,07	0,08	0,20	0,50	0,20	
	Corte de cipó	Hd.ha ⁻¹	-	-	-		0,13		0,42	1,47						
Exploratória	Planejamento das estradas (marcação)	Hd.ha ⁻¹	0,08	0,10	0,10				0,04	0,09	0,13	0,11	0,03	0,06	0,03	0,0387
	Abertura de rede de estradas e pátios de estocagem, com trator de esteira	Hm.km ⁻¹	10,00	-	8,33	10,00	10,00	3,00	5,00	31,66	11,25	8,18	4,00	10,00	4,00	8,53
	Corte ou abate das árvores	Hd.m ⁻³	0,04	0,06	0,07	0,03	0,03	0,02	0,03	0,01	0,03	0,02	0,02	0,07	0,02	0,0155
	Planejamento de arraste	Hd.ha ⁻¹	0,43	0,07	0,07	-			0,36	0,09						0,2020
	Arraste mecanizado com Skidder	Hm.m ⁻³	0,09	0,08	0,09	0,07	0,03	0,04	0,03	0,03	0,08	0,08	0,02	0,07	0,02	0,0260
	Medição das toras (romaneio)	Hd.m ⁻³	0,04	0,09	0,10				0,26		0,01	0,02	0,02	0,03	0,02	0,0186

Fonte: Tabela adaptada de Thaines (2013).

*Hd.ha⁻¹ = homem dia por hectare; Hd.m⁻³ = homem dia por metro cúbico; Hm.km⁻¹ = hora máquina por quilômetro; Hm.m⁻³ = hora máquina por metro cúbico.

¹ Análise das atividades em planos de manejo comunitário, em 2007, considerando várias iniciativas na Amazônia (publicado em 2008);

² Plano de Manejo Florestal Sustentável Comunitário, Revisado em 2010, da Associação dos Moradores e Produtores do PAE Chico Mendes (Cachoeira);

³ Trabalho desenvolvido na empresa ST Manejo de Florestas, com apoio institucional da EMBRAPA-ACRE, localizada no Sul do Amazonas;

⁴ Trabalho desenvolvido a partir da metodologia MODEFLORA pela Embrapa-Acre;

⁵ Trabalho comparativo entre exploração de impacto reduzido e exploração convencional, desenvolvido pela Fundação Floresta Tropical, atualmente, Instituto Floresta Tropical.

⁶ Trabalho realizado na região de Paragominas/PA, com análise da exploração de floresta com e sem manejo florestal.

É notória a variação dos coeficientes técnicos (Tabela 13) entre as áreas analisadas. Na fase pré-exploratória o valor total para as atividades de delimitação da área de exploração, abertura de picada de orientação e sinalização das picadas para a área de estudo foi de 0,12 Hd.ha⁻¹, a média para as demais áreas foi de 0,66 Hd.ha⁻¹, sendo o maior valor (1,43 Hd.ha⁻¹) obtido na Associação Arimum e o menor (0,20 Hd.ha⁻¹) em Cachoeira (2010) e MODEFLORA. As atividades do Inventário Florestal 100%, microzoneamento e corte de cipós que também ocorreram na fase pré-exploratória foram realizadas em conjunto na área de pesquisa e obtido o valor de 0,13 Hd.ha⁻¹; a média para as demais áreas foi de 0,51 Hd.ha⁻¹, sendo o maior valor (1,77 Hd.ha⁻¹) obtido em Paragominas e o menor (0,14 Hd.ha⁻¹) no MODEFLORA (Tabela 13) (THAINES, 2013).

Em relação à fase exploratória, na atividade de abertura de estradas florestais e de pátios de estocagem de madeira foi identificado um valor discrepante de 31,66 Hm.km⁻¹ no estudo de Barreto; Vidal; Uhl (1998) em Paragominas, em média para a abertura de um km de estrada florestal junto com o pátio de estocagem foi necessário 9,53 Hm.

É importante ressaltar que fatores como a tipologia florestal, o pacote tecnológico de exploração e a qualificação da mão de obra têm forte influência sobre os parâmetros de produção. Relacionado a tipologia florestal a quantidade de madeira disponível e facilidade de movimentação dos tratores pelo sub-bosque (que pode possuir áreas cipoálicas (presença de cipós) e áreas com presença de bambu) pode ter forte variação de uma região para outra. O pacote tecnológico é composto basicamente pelo planejamento adotado e pela disponibilidade financeira da empresa, pois o nível de produtividade das atividades se dá em função da quantidade de equipes alocadas em cada atividade e do estado funcional dos equipamentos (veículos, tratores e motosserras e EPI's), o que pode limitar a produtividade. Já a mão de obra qualificada interage com os fatores citados anteriormente, uma vez que quanto mais capacitada a equipe melhor será a implementação do planejamento adotado com base no pacote tecnológico disponível.

6.4.2 Estrutura dos custos de produção em função do tempo de atividade relatado na entrevista com a equipe técnica e coeficientes de produção das atividades florestais

Quando analisados os custos totais da exploração (Tabela 14), com tempo de atividade informado pela equipe técnica e estimado pelos coeficientes de produção, computando-se a presença e a ausência de custos de depreciação dos veículos de transporte, tratores e motosserras em meses que não ocorre atividade florestal, foi observado que a diferença dos custos com e sem a depreciação representa 5,66% e 4,65%, respectivamente, quando o tempo da atividade foi estimado pela equipe técnica e pelos coeficientes de produção.

Tabela 14 – Estimativa do valor presente do custo (VPC) total da exploração de madeira em tora posta no pátio, com e sem depreciação de veículos, máquinas e motosserras em meses sem atividade florestal, com cronograma estimado pela equipe técnica e pelo coeficiente de produção.

Método da estimativa de tempo de execução das atividades florestais	Custo total (R\$) (com depreciação)	Custo total (R\$) (sem depreciação)	DIF (R\$)*
Equipe técnica	5.407.816,29	5.101.954,82	305.861,47
Coeficiente de produção	5.313.272,16	5.066.423,65	246.848,51
DIF (R\$)**	R\$ 94.544,13	R\$ 35.531,17	-

*Valor da diferença dos custos com e sem depreciação em cada método de estimativa de tempo; **valor da diferença dos custos entre os métodos de estimativa de tempo de execução das atividades florestais

O valor da depreciação (veículos, máquinas e motosserras) representou em média R\$ 276.354,99. Este valor representa a importância do planejamento do cronograma físico-financeiro da empresa, pois avaliando o horizonte de planejamento da exploração florestal e a necessidade de capital em um determinado período, no fluxo de caixa, é crucial analisar a viabilidade de compra ou aluguel de equipamentos.

Quando analisada a diferença relativa de custo total entre os métodos de estimativa de tempo de execução das atividades florestais, o coeficiente de produção estimou o valor total da exploração 0,015% em média menor, do que o custo estimado pelo tempo de execução informado pela a equipe técnica. Apesar de o valor relativo médio ser baixo, os valores absolutos são significativos, R\$ 94.544,13 com depreciação e R\$ 35.531,17 sem depreciação.

O acompanhamento dos coeficientes de produção das atividades florestais possibilita estimar o tempo de cada atividade florestal, e assim, contribuir com o cronograma anual do fluxo de caixa.

Considerando um mês em que a atividade florestal ocorre normalmente e todos os custos são considerados (Tabela 2), na fase de exploração, o arraste de toras e a abertura de estradas florestais e de pátios de estocagem de madeira são as atividades de maior custo, sendo o principal motivo o custo do Skidder e da pá carregadeira. Os custos dos dois tratores (combustível, manutenção e depreciação) representou 84,05% do valor total da atividade. Já, na abertura de estradas florestais e de pátios de estocagem de madeira, o trator de esteira D6 e a motosserra representou 75,08% do custo total da atividade.

O valor total pago ao SFB pela madeira representou mais de 63% dos custos totais em todas situações analisadas (Tabela 6, Tabela 7, Tabela 8 e Tabela 9). Ao avaliar somente os custos totais das atividades exploratórias, o arraste de tora e a abertura de estradas florestais representaram em geral mais de 44% dos custos totais (Figura 5 e Figura 6).

Figura 5 – Percentagem dos custos das atividades florestais em função do tempo de atividade estimado pela equipe técnica, com valores de depreciação (a) e sem valores de depreciação (b).

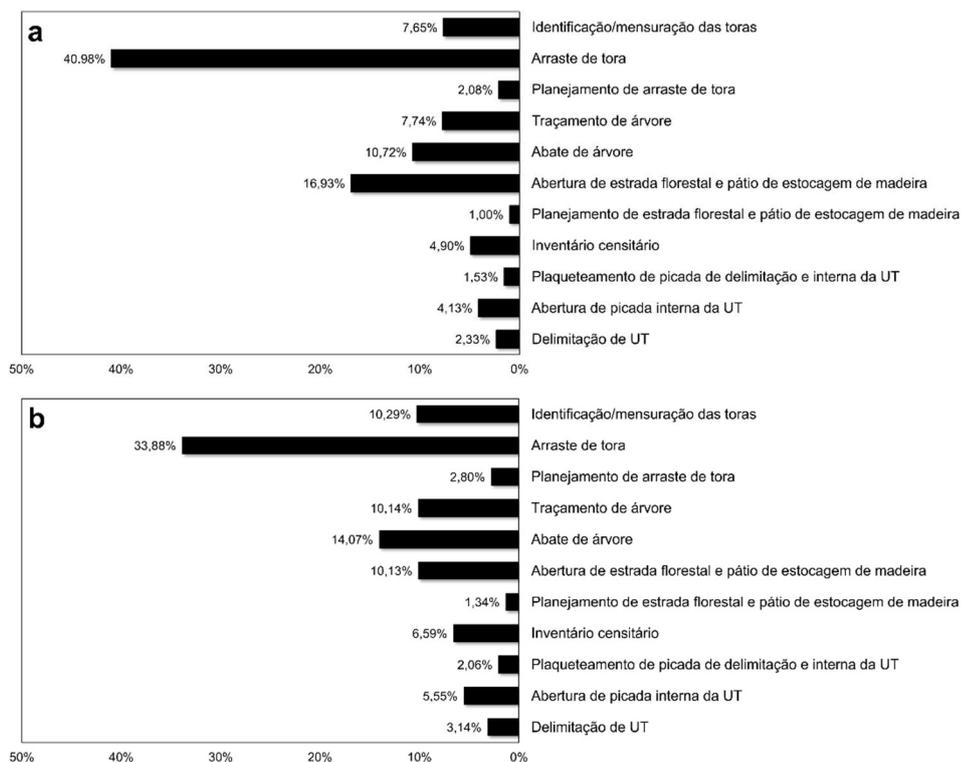
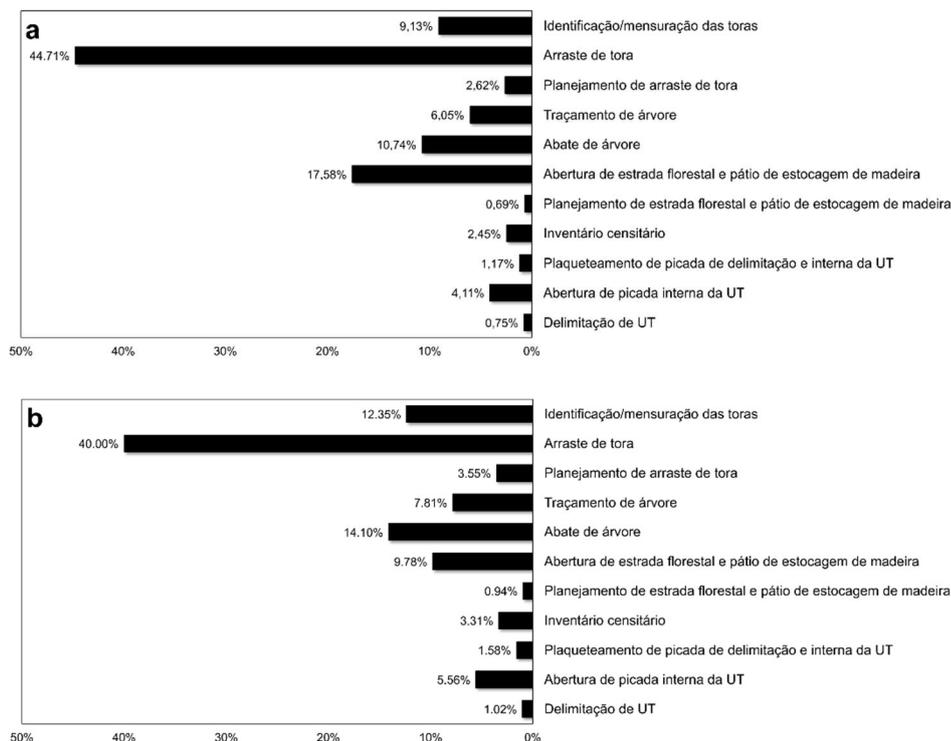


Figura 6 – Percentagem dos custos das atividades florestais em função do tempo de atividade estimado pelos coeficientes de produção, com valores de depreciação (a) e sem valores de depreciação (b).



A fase da pré-exploração representa o menor custo do total da exploração. Isso se deve ao fato de não haver a utilização de equipamentos de alto custo de aquisição como tratores florestais e de ter menor necessidade de insumos, sendo que a mão de obra é responsável pela maior parte dos custos. Já as demais fases da exploração, juntas, representam mais de 92%, sendo que grande parte dos custos da fase exploratória se dá pelo custo alocado em equipamentos (veículos, tratores e motosserras) e na fase de custos do projeto está ligada à mão de obra que tem valores constantes durante o período de exploração (Tabela 15).

Tabela 15 – Participação dos custos totais em percentagem, desconsiderando o custo da madeira paga ao SFB, de cada fase da exploração de acordo com cada método de estimativa de tempo da exploração.

Método de estimativa de tempo	Fase	% (com depreciação)	% (sem depreciação)	DIF (%)*
Equipe técnica	Pré-exploratória	6,71	7,93	1,22
	Exploratória	45,32	37,80	7,52
	Custos do projeto	47,97	54,27	6,3
Coeficiente de produção	Pré-exploratória	4,21	4,85	0,64
	Exploratória	45,46	37,39	8,07
	Custos do projeto	50,33	57,76	7,43

*Valor das diferenças em % dos custos totais da exploração com e sem depreciação em cada método de estimativa de tempo e em cada fase da exploração.

O arraste e a abertura de estradas destaca-se por apresentar um valor representativo dos custos, por este motivo são importantes planejamentos que proporcionem maior produtividade e diminuição da quantidade de infraestrutura para favorecer a redução dos custos.

Contudo, estudos relacionados a investigar a estrutura dos custos e experimentação de planejamentos florestais otimizados ainda são incipientes, quando relacionados aos diferentes planejamentos da exploração, à estrutura de custos dos diferentes pacotes tecnológicos utilizados pelas empresas e às diferentes tipologias florestais presentes na Amazônia.

As atividades de abertura de estradas florestais e de pátios de estocagem de madeira, abate de árvores e arraste de toras têm seus procedimentos pouco pesquisados e a forma com qual são realizados estão consolidadas nas empresas florestais, sendo o parâmetro de produtividade mais atrelado ao tipo de floresta, equipamentos utilizado, relevo da área, à qualidade do planejamento da estrada e à experiência do operador de máquina. Logo, com uma metodologia de execução consolidada na empresa e com pouca flexibilidade de alteração, a redução de custos estará mais atrelada à diminuição de infraestrutura a ser instalada ou à redução dos custos fixos e variáveis dos itens de cada atividade florestal.

6.5 CONCLUSÃO

Os coeficientes de produção obtidos forneceram boa estimativa do tempo investido nas atividades florestais quando comparado com o tempo relatado pela a equipe técnica. O arraste de toras de madeira e a abertura de estradas e de pátios de estocagem são as atividades de maior custo da exploração florestal e as máquinas utilizadas (tratores e motosserras) representam mais de 75% dos custos destas atividades. Por fim, o maior custo de produção de madeira na área de concessão foi o pagamento da madeira ao SFB, representando mais de 63% do custo total.

6.6 REFERÊNCIAS

ALVIM, M. J. et al. **Sistema de produção de leite com recria de novilhas em sistemas silvipastoris: Coeficientes técnicos.** Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Leite/LeiteRecriadeNovilhas/coeficientestecnicos.htm>>. Acesso em: 30 abr. 2019.

BARRETO, P.; VIDAL, E.; UHL, C. **Custos e benefícios do manejo florestal para produção de madeira na Amazônia Oriental.** Belém:Pará: Imazon. Série Amazônia N° 10, 1998.

BORCHARDT, I. **Desenvolvimento de metodologia para elaboração de custos de produção das principais culturas exploradas em Santa Catarina.** Florianópolis: Instituto Cepa/SC, 2004.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de Maio de 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, 2012.

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, 2010.

BRAZ, E. M.; BASSO, R. O.; OLIVEIRA, M. V. N. D'. FIGUEIREDO, E. O. **Estudo do sistema de exploração florestal relativo ao manejo empresarial, no Estado de Mato Grosso.** Colombo - MT: Embrapa Florestas. Comunicado Técnico, 261, 2010.

BRAZ, E. M.; THAINES, F. Planejamento da exploração em uma unidade de produção de floresta tropical no Estado do Amazonas. 2010.

COSTA FILHO, P. P.; COSTA, H. B.; AGUIAR, O. R. **Exploração mecanizada na Floresta Tropical Úmida Sem Babaçu.** Belém:Pará: Embrapa-CPATU-PNPF, 1980.

DELLEMOLE, D.; LINS, P.; SANTANA, A. C. Análise de investimento de coqueiral híbrido pb-121 para produção de coco seco. **Revista de Estudos Sociais**, v. 2, n. 20, 2008.

FAO. **Forestry.** Disponível em: <www.FAO.org/forestry/>. Acesso em: 24 abr. 2019.

FIGUEIREDO, E. O. **Modelagem biométrica para árvores individuais a partir do LIDAR em área de manejo de precisão em florestas tropicais na Amazônia ocidental.** 2014. 86 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais Tropicais) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2014.

FIGUEIREDO, E. O.; LIMA, Q. S. **Coeficientes técnicos para o inventário e manejo florestal com emprego do modelo digital de exploração florestal (MODEFLORA).** Rio Branco, AC: EMBRAPA - Acre, Comunicada Técnico 169, 2008.

FRANCO, C. A. et al. **Manejo florestal empresarial no Acre: Custos da atividade pré-exploratória na Floresta Estadual do Antimary.** XLVI Congresso da sociedade brasileira de economia, administração e sociologia rural. Rio Branco, AC: SOBER, 2008.

FREITAS, J. V. DE; FREITAS, E. Y. DE; HUMMEL, A. C. **Uso dos recursos florestais na Amazônia: manejando a floresta para a produção de madeira.** Manaus, AM: IBAMA/ProManejo, 2005.

GONÇALVES, S. L. F. et al. **Gerenciamento de custos: o caso da exploração madeireira de baixo impacto.** n. 8º Congresso Florestal Brasileiro, 2003, São Paulo. 8º Congresso Florestal Brasileiro. São Paulo: Monferrer produções, 2003.

HOFFMANN, R. et al. **Administração de empresa agrícola.** São Paulo: Pioneira, 1984.

HOLMES, T. P. et al. **Custos e benefícios financeiros da exploração de impacto reduzido em comparação à exploração florestal convencional na Amazônia Oriental.** 2ª edição ed. Belém:Pará: Fundação Floresta Tropical, 2002.

IBAMA. **Norma de execução n.º 1, de 24 abril de 2007.** Institui, no âmbito desta Autarquia, as Diretrizes Técnicas para Elaboração dos Planos de Manejo Florestal Sustentável – PMFS. Instituto Brasileiro do meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, 2007. Disponível em: <https://www.gret.org/static/cdrom/floresta_viva_amazonas/Files/norma_exec_IBAMA_01_240407.pdf>

JÚNIOR, R. T. et al. Ponto de equilíbrio do manejo de baixo impacto em florestas tropicais – um estudo de caso. **Floresta**, v. 39, n. 1995, p. 189–196, 2008.

MEDINA, G.; POKORNY, B. **Avaliação Financeira do Manejo Florestal Comunitário.** Disponível em: <http://omnibus.uni-freiburg.de/~bp97/06_Products/SciPub/Compendio_Avalia_Financeira.pdf>.

OIMT. **Reseña anual y evaluación de la situación mundial de las maderas 2015-2016.** Yokohama, Japón: Organización Internacional de las Maderas Tropicales, 2016.

OLIVEIRA, M. V. N. D'. **Manejo florestal em áreas de reserva legal para pequenas propriedades rurais.** Rio Branco, AC: Embrapa acre. Sistemas de produção, 2, 2002.

OLIVEIRA, M. V. N. D'.; BRAZ, E. M. **Manejo Florestal em regime de rendimento sustentado aplicado à floresta do campo experimental da EMBRAPA-CPAF/AC.** Rio Branco, AC: Embrapa-CPAF/AC. Boletim de Pesquisa, 21, 1998.

SÁ, C. P. et al. **Coeficientes técnicos para o manejo florestal madeireiro em áreas de reserva legal de pequenas propriedades no estado do Acre.** Comunicada Técnico 167. Rio Branco, AC: EMBRAPA-Acre, 1997.

SÁ, C. P. et al. **Insumos necessários para o manejo florestal em áreas de reserva legal no Acre**. Rio Branco, AC: Embrapa CPAF/AC. Instruções Técnicas 10, 1998.

SÁ, C. P. et al. **Coeficientes Técnicos para o Manejo Florestal Madeireiro em Áreas de Reserva Legal de Pequenas Propriedades no Estado do Acre**. Rio Branco, AC: Comunicado Técnico, n. 167, Embrapa, 2008.

SFB, S. F. B. **Florestas do Brasil em resumo - 2013: dados de 2007-2012**. Brasília, DF: SFB, 2013.

SFB, S. F. B. **Correção de preço SBF**. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/documentos/concessoes-florestais/concessoes-florestais-florestas-sob-concessao/flona-de-saraca-taquera/contratos-e-aditivos/correcao-de-preco-1>>.

SFB, S. F. B. **Cadastro nacional de florestas públicas - atualização 2017**. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/cadastro-nacional-de-florestas-publicas/127-informacoes-florestais/cadastro-nacional-de-florestas-publicas-cnfp/1413-cadastro-nacional-de-florestas-publicas-atualizacao-2017>>. Acesso em: 20 set. 2018.

SILVA, L. F. DA; SILVA, M. L. DA; CORDEIRO, S. A. Análise do mercado mundial de madeira tropicais. **Revista Política Agrícola**, v. 21, n. 3, p. 48–54, 2012.

SILVEIRA, C. M. R. **Introdução ao agronegócio**. Disponível em: <<http://www.etecbrasil.unimontes.br/agronegocio/introagro/aula11.html>>. Acesso em: 29 abr. 2019.

THAINES, F. **Plano de manejo florestal sustentável: relatório técnico**. Rio Branco, AC. Fazenda Buriti: TECMAN, 2010.

THAINES, F. **Coeficientes técnicos para o manejo florestal no bioma Amazônia madeireiro comunitário**. Brasília, DF: SFB, 2013.

TIMOFEICZYK JÚNIOR, R. et al. Estrutura de custos do manejo de baixo impacto em florestas tropicais – Um estudo de caso. **Floresta**, v. 35, n. 1, p. 89–103, 2005.

TIMOFEICZYK JÚNIOR, R. et al. Indicadores econômico-financeiros do manejo de baixo impacto em florestas tropicais - Um estudo de caso. **Floresta**, v. 37, n. 2000, p. 43–54, 2007.

7 CAPÍTULO 2 – PLANEJAMENTO OTIMIZADO DE ALOCAÇÃO DE PÁTIOS DE ESTOCAGEM DE MADEIRA EM ÁREA DE MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL NA AMAZÔNIA

RESUMO

No manejo de florestas nativas da Amazônia, as infraestruturas de estrada florestais, pátios de estocagem de madeira e trilhas de arraste de toras são as atividades mais onerosas e as responsáveis por impactos ambientais junto ao corte seletivo das árvores. A otimização das estradas é crucial para reduzir os impactos ambientais e custos de produção, e fortemente à ligada a localização otimizada dos pátios de estocagem que são essenciais no planejamento das estradas florestais. Considerando o problema apresentado e as soluções correntes disponíveis, este trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência e os eventuais ganhos da execução de um planejamento florestal otimizado (PFO) de alocação de pátios, em comparação com a execução de um planejamento florestal tradicional (PFT), frequentemente utilizado pelas empresas florestais na região amazônica. A área de estudo de 126,41 ha, pertence à Floresta Nacional (FLONA) Saracá-Taquera, Unidade de Manejo Florestal II (UMF-II), Unidade de Produção anual (UPA) 04/2018 e Unidade de Trabalho (UT) 2. Na metodologia, foram definidas duas áreas para a exploração: a primeira com um PFO por meio de modelo matemático (57,75 ha) e a segunda com um PFT da empresa (68,66 ha). Nas duas áreas foram comparados os planejamentos e as execuções. Em relação ao planejamento, o PFO reduziu significativamente as distâncias euclidianas de ligação árvore-pátio, com apenas 0,23 km de diferença na quantidade de estradas florestais planejadas, quando comparado ao PFT. O PFO teve maior produtividade (árv.h^{-1} e $\text{m}^3.\text{h}^{-1}$) em relação ao PFT, com redução da distância de arraste, em média, de 17,16% e reduziu o custo do m^3 arrastado em 25,76%. O PFO é viável e pode ser adotado pelas empresas, visando o aumento da produtividade.

Palavras chave: Pesquisa Operacional, Manejo Florestal de Precisão, Concessão Florestal, Produtividade.

CHAPTER 2 – OPTIMIZED PLANNING OF WOOD STORAGE YARDS IN SUSTAINABLE FOREST MANAGEMENT AREA IN THE AMAZON

ABSTRACT

In the management of native forests of the Amazon, the infrastructures of forest road, wood storage yard and skid trails are the most costly activities and responsible for environmental impacts together selective logging. Road optimization is crucial for reducing environmental impacts and production costs, and closely linked to the optimal location of wood storage yards that are essential in forest road planning. Considering the presented problem and the available current solutions, this work aims to evaluate the efficiency and eventual gains of the execution of an optimized forest planning (OFP) of wood storage yard allocation, compared to the execution of a traditional forest planning (TFP) often used by forest companies in the Amazon region. The study area of 126.41 ha belongs to the Saracá-Taquera National Forest (NAFO), Forest Management Unit II (FMU-II), Annual Production Unit (APU) 04/2018 and Work Unit (UW) 2. In the methodology, two areas were defined for exploration: the first with an OFP through mathematical model (57.75 ha) and the second following the company's TFP (68.66 ha). In both areas, plans and executions were compared. Regarding planning, OFP significantly reduced distances Euclidean tree-yard link, with little difference in the amount of planned forest roads when compared to TFP. The OFP had higher productivity (tree.h⁻¹ and m³.h⁻¹) compared to TFP, with reduction of the drag distance, on average, of 17.16% and reduced the cost of dragged m³ by 25.72%. OFP is viable and can be adopted by companies to increase productivity.

Keywords: Operational Research, Precision Forest Management, Forest Concession, Productivity.

7.1 INTRODUÇÃO

A produção de madeira tropical na floresta Amazônica é uma das principais atividades econômicas desenvolvida, sendo um desafio complexo o gerenciamento do uso desse recurso florestal. Assim, as técnicas utilizadas para gerenciar esse recurso florestal devem proporcionar a utilização de forma viável no âmbito econômico, ambiental e social (AMARAL et al., 1998), além de promover a manutenção do ecossistema (BRAZ, 2010).

Uma das principais ferramentas para o uso sustentável das florestas é o chamado Manejo florestal Sustentável (MFS). O MFS visa aplicar técnicas de manejo florestal e de exploração de impacto reduzido, adequadas para o uso sustentável dos recursos florestais, durante a exploração seletiva de árvores comerciais. As técnicas de exploração e informações da área de manejo são descritas e apresentadas no Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS) que é submetido ao órgão responsável. Para a execução da exploração é exigido o Plano Operacional Anual (POA) que guia todas as atividades que serão executadas na unidade de manejo florestal (UMF) (BRASIL, 2006b, 2009; IBAMA, 2007).

A exploração seletiva visa somente a retira de árvores com valor comercial. O seu emprego é associado a técnicas de manejo florestal e tem como referência a legislação vigente, que define a intensidade de corte em volume por área e por espécie, além de prever um planejamento de exploração e de execução de baixo impacto (IBAMA, 2007). Esse planejamento é realizado em função da localização das árvores que serão extraídas, sendo necessárias as infraestruturas de estradas florestais, pátios de estocagem de madeira e trilhas de arraste de toras para o desenvolvimento das atividades.

Neste contexto, o PMFS deve levar em conta as relações existentes entre trilhas de arraste, pátios e estradas de modo a minimizar os impactos ambientais causados à floresta e a maximizar o desempenho econômico da atividade de produção de madeira. Contudo, este é um problema complexo (PHILIPPART et al., 2012), por várias razões, sendo uma delas o fato de que as relações entre trilhas de arraste, pátios de estocagem e estradas florestais ainda não são bem definidas. Além disso, problemas dessa natureza são influenciados por diversas

variáveis, sejam elas econômicas, ambientais, operacionais e legais, o que dificulta o seu tratamento.

Para lidar com este tipo de problema, os pesquisadores têm buscado suporte em métodos de pesquisa operacional. No planejamento da produção florestal se pode citar diversos exemplos do uso dessa ferramenta no planejamento de operações (CONTRERAS; CHUNG, 2007; KARLSSON; RÖNNQVIST; BERGSTRÖM, 2004; MURRAY; SNYDER, 2000; SHAHI; PULKKI, 2013; SØVDE; LØKKETANGEN; TALBOT, 2013). Mais especificamente, Silva et al. (2018a) apresentam um estudo teórico que discute a relação entre as infraestruturas de estradas florestais, pátios de estocagem de madeira e trilhas de arraste e relata a necessidade de análise mais detalhadas a respeito da quantidade a ser planejada. Existe uma relação direta entre o aumento da quantidade de pátios de estocagem e a redução de trilhas de arraste, e entre o aumento da quantidade de pátios e o aumento da abertura de estradas florestais. O ponto ótimo dessas relações é em função do dimensionamento dos recursos existentes na exploração. Estudos referentes a essa questão ainda são incipientes, pois não se conhece a razão que otimiza a viabilidade entre as atividades de abertura de estradas florestais, pátios e trilhas de arraste, ou seja, quantas unidades de uma infraestrutura que poderiam equivaler a outra, resultado em planejamento mais otimizado possível em função de características ambientais, técnicas, legais, sociais e econômicas.

Por outro lado o, estudo apresentado por Silva et al. (2018a) não apresenta medidas de desempenho econômico e nem validação do modelo mencionado. Assim, embora o modelo utilizado pelos autores se mostre factível, sua aplicação em uma situação real com levantamento dos custos efetivamente ocorridos no processo de produção traria respostas fundamentais para o desenvolvimento do referido modelo. Além de Silva et al. (2018a), Braz; D'Oliveira (1997), Machado (2012), Sist (2000) e Bramucci; Seixas (2002) destacam a necessidade de se investir mais no planejamento da exploração florestal bem como a necessidade de novos estudos para aumentar a produtividade das operações e conseqüente o aumento do desempenho econômico da atividade de produção de madeira.

É muito importante contextualizar que a produção de madeira na região amazônica via PMFS normalmente não adota nenhum sistema otimizado do

planejamento das infraestruturas aos moldes do que propõem Silva et al. (2018a). As decisões normalmente são tomadas de forma empírica, com base na experiência do tomador de decisão e ignorando boa parte da complexidade do problema. Assim, embora isso não tenha sido demonstrado, espera-se que o uso de técnicas de pesquisa operacional com fontes de dados fidedignas e com o conhecimento mais aprofundado do processo de produção, tudo isso transformado em modelos, possa aumentar significativamente o desempenho dos métodos empíricos correntemente empregados (GOMIDE; MOURA; MELLO, 2011; ISSAC JÚNIOR et al., 2014; MARTINHAGO, 2012; SILVA et al., 2018b).

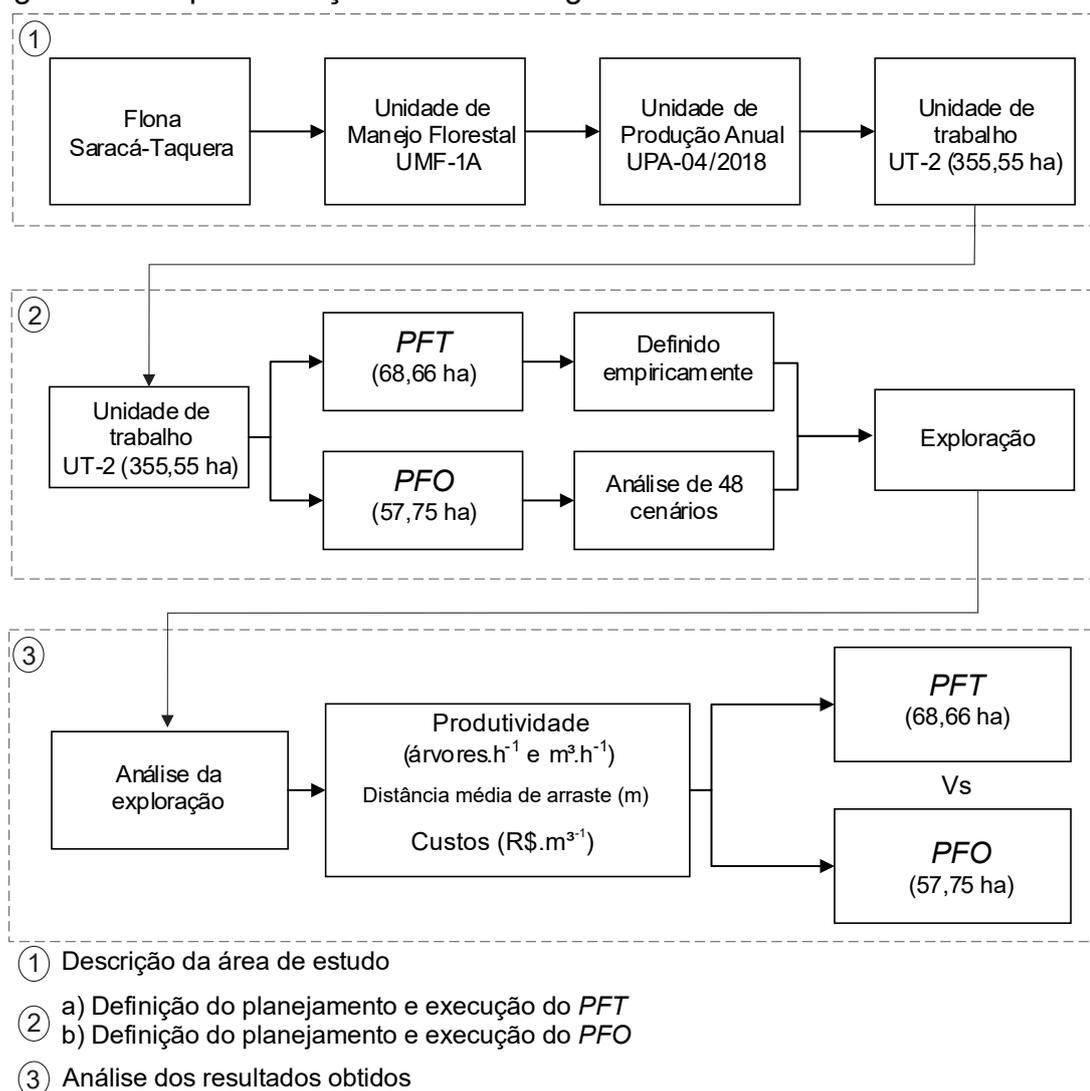
Considerando o problema apresentado e as soluções correntes disponíveis, este trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência e os eventuais ganhos da execução de um planejamento otimizado de alocação de pátios de estocagem, em comparação com a execução de um planejamento tradicional frequentemente utilizado pelas empresas florestais na região amazônica.

7.2 MATERIAL E MÉTODOS

7.2.1 Etapas metodológicas

O fluxograma metodológico que representa as etapas necessárias para o desenvolvimento da pesquisa é apresentado na Figura 7. Como mencionado no objetivo do trabalho, a ideia central é a comparação de dois tipos de planejamento da infraestrutura do MFS. Para facilitar a descrição da metodologia e a apresentação dos resultados, a partir desse ponto denominaremos o planejamento florestal tradicionalmente adotado pelas empresas de PFT e a proposta de planejamento florestal otimizado apresentada nesse trabalho por PFO.

Figura 7 – Esquemática da metodologia utilizada no estudo.



Tendo-se como referência o fluxograma metodológico, na sequência são apresentados os detalhes dos itens 1, 2 e 3 apresentados na Figura 7.

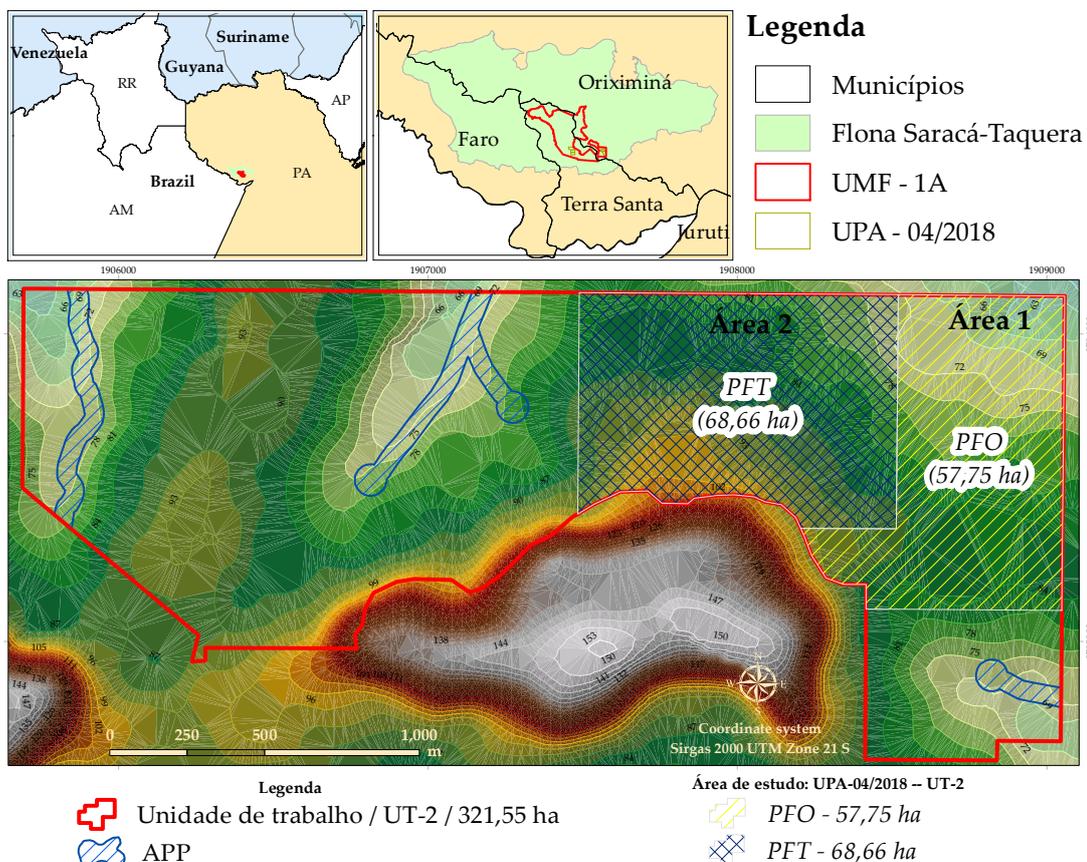
7.2.2 Item 1 do fluxograma: Descrição da área de estudo

A área de estudo é localizada na coordenada geográfica 1°45'23" S e 56°34'21" W, Datum WGS 1984, denominada Unidade de Manejo Florestal (UMF) 1A, possui 26.897,96 hectares, situada nos municípios de Terra Santa e Oriximiná, Pará, e pertence à Floresta Nacional (FLONA) Saracá-Taquera. A UMF-1A foi concedida à empresa EBATA Produtos Florestais de forma legal por meio do instrumento de concessão florestal, concorrência N° 02/2012, promovida pelo Serviço Florestal Brasileiro (SFB), nos termos da Lei n°

11.284/2006 e do Decreto n° 6.063/2007 e detém certificação Forest Stewardship Council (FSC®). A área de aplicação do estudo está localizada na Unidade de Produção anual (UPA) 04/2018, na Unidade de Trabalho (UT) 02. A UT-2 possui 355,55 ha, dos quais 126,41 ha foram analisados.

A floresta nativa amazônica tem como característica a heterogeneidade das espécies e da distribuição espacial. Por este motivo, a fim de diminuir a diferença entre as duas áreas estudadas, foram definidas áreas contínuas, com maior semelhança possível referente ao relevo plano, à tipologia florestal, à quantidade de árvores a serem colhidas, ao volume de madeira por área, à soma total das distâncias de ligação árvore-pátio de acordo com o planejamento tradicional, e à quantidade de pátios a serem alocados. Na primeira área a exploração ocorreu de acordo com o planejamento tradicional. E, na segunda, a exploração ocorreu de acordo com o planejamento otimizado proposto no presente trabalho (Figura 8).

Figura 8 – Localização da área de estudo situada na FLONA Saracá-Taquera, UPA-04/2018, UT-2, Oriximiná e Terra Santa, Pará, Brasil.



Tanto o PFT quanto o PFO tiveram como base as informações oriundas do inventário florestal censitário (Tabela 16).

Tabela 16 – Descrição das variáveis analisadas para a definição da área de estudo, situada na FLONA Saracá-Taquera, UPA-04/2018, UT-2, Oriximiná/Terra Santa, Pará, Brasil.

Planejamento	Área (ha)	Nº de pátios	Nº de Árv.	Volume (m³)	Total de dist. (km)	Dist. Média (m)	Dist. máxima média (m)
PFT	68,66	6	379	1.739,89	58,98	156	275
PFO	57,75	5	355	1.337,67	54,49	158	276

Em que: PFT= planejamento florestal tradicional; PFO= planejamento florestal otimizado; Área (ha)= tamanho da área planejada; Nº de pátios= quantidade de pátios de estocagem em cada área planejada; Nº de árv.= quantidade de árvores em cada área planejada; Volume (m³)= quantidade de volume (m³) de cada área planejada; Total de dist.(km)= soma total das distância (km) euclidiana de ligação de cada árvore ao seu respectivo pátio de estocagem; Dist. Média (m)= média geral da distância (m) de ligação de cada árvore ao seu respectivo pátio de estocagem; Dist. Máxima média (m)= distância (m) média de ligação das árvores mais distantes de cada pátio ao seu respectivo pátio de estocagem.

7.2.3 Item 2a do fluxograma: Definição e execução do PFT

Como citado anteriormente, foram definidos dois planejamentos, sendo que o primeiro seguiu um padrão sistemático, que é tradicionalmente utilizado por muitas empresas no planejamento e execução das infraestruturas da área de manejo florestal, inclusive na empresa onde o estudo foi realizado.

Este planejamento sistemático consiste em definir estradas principais, estradas secundarias e pátios de estocagem equidistantes. Segundo Figueiredo; Braz; D'oliveira (2007) a separação ótima de estradas florestais principais e secundarias proporciona distâncias de arraste ideais em função do maquinário utilizado, pois os pátios de estocagem são distribuídos sistematicamente nas estradas florestais (

Figura 9).

Assim, a distância máxima de arraste de tora corresponde à metade da separação ótima entre estradas (FIGUEIREDO; BRAZ; D'OLIVEIRA, 2007), que é calculada pela Equação (10) (FAO, 1974).

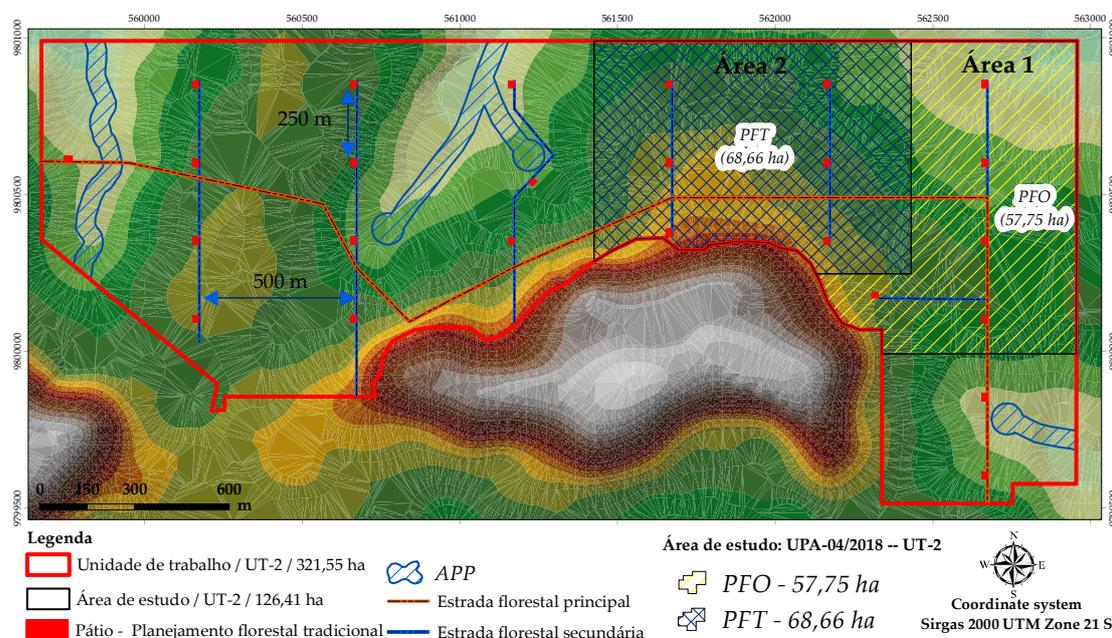
$$SOE = 2 \sqrt{\frac{10C}{V.Tr}} \quad (10)$$

Em que: SOE= distância de separação ótima entre estradas, C= custo de construção da estrada por km, V= volume explorável por hectare, e Tr= custo do arraste por metro de trilha (ida e volta) por metro cúbico transportado.

O planejamento realizado pelo gestor florestal na UT-2 que compreende a área de estudo é apresentado na

Figura 9. Neste planejamento, foi priorizado a construção de estradas na forma a mais retilínea possível, distância entre estradas secundárias de aproximadamente 500 m e distância entre pátios de aproximadamente 250 m.

Figura 9 – Planejamento florestal tradicional realizado pelo gestor florestal na área de manejo florestal da FLONA Saracá-Taquera, UPA-04/2018, UT-2, Oriximiná/Terra Santa, Pará, Brasil.



7.2.4 Item 2b do fluxograma: Definição e execução do PFO

O segundo planejamento foi realizado por meio de programação matemática. O modelo utilizado foi o de p-mediana com restrições de capacidade máxima de volume e de distância máxima de arraste de toras. Os estudos de problemas dessa classe procuram responder à seguinte pergunta: De um conjunto de possíveis instalações que visam atender a determinados clientes, quais devem ser selecionadas para serem abertas, definindo-se o local de

abertura da instalação e quais clientes serão atendidos por cada instalação selecionada? (DANESHZAND; SHOELEH, 2009; DREZNER; HAMACHER, 2009; FÁVERO; BELFIORE, 2013; GOLDBARG; LUNA, 2005; KLOSE; DREXL, 2005b; LUENBERGER; YE, 2016).

O modelo matemático da p -mediana é descrito da seguinte forma, com restrições de ligações e capacidades máximas (ARENALES et al., 2011; DANESHZAND; SHOELEH, 2009; DASKIN, 1995; DREZNER; HAMACHER, 2009; EISELT; SANDBLOM, 2004; EISELT; MARIANOV, 2011; FÁVERO; BELFIORE, 2013; GOLDBARG, 2015; HURTER; MARTINICH, 1989; LUENBERGER; YE, 2016; PADBERG; RIJAL, 1996; SULE, 2001) :

$$\text{Minimizar: } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^P d_{ij} x_{ij} \quad (11)$$

$$\sum_{j=1}^P x_{ij} = 1 \quad \text{Sujeito a:} \quad (12)$$

$$\sum_{j=1}^P Y_j = p \quad (13)$$

$$x_{ij} - Y_j \leq 0 \quad (14)$$

$$\sum_{i=1}^n q_i x_{ij} \leq Q_j \quad (15)$$

$$d_{ij} x_{ij} \leq Dmáx \quad (16)$$

Em que: i = árvores; j = pátios; P = número total de pátios passíveis de serem alocados; d_{ij} = custo de ligação da árvores i para o pátio j ; p = quantidade de pátios a serem efetivamente alocados ($p \in P$); x_{ij} = variável binária (0 ou 1) que assume o valor 1 caso a árvore i seja alocado no pátio j , e 0 em caso contrário; Y_j = é uma variável binária (0, 1), assumindo o valor 1 caso o pátio seja selecionado e zero em caso contrário; q_i = volume da árvore i , Q_j = capacidade máxima de volume suportado pelo pátio j ; $Dmáx$ = distância máxima de ligação entre a árvore i até o pátio j .

A função objetivo (FO) (Equação 11) minimiza o somatório dos custos de ligação de cada árvore a cada pátio. A primeira restrição (Equação 12) garante que cada árvore possa ser ligada a mais de um pátio. A segunda restrição (Equação 13) garante que de todos os pátios possíveis (P) de serem selecionados, apenas um determinado número de pátio será selecionado (p). Na prática, esta restrição garante que um número reduzido e pré-definido de pátios (p) seja selecionado, isto é, a seleção de p dentro de P . A terceira restrição

(Equação 14), associada com a segunda restrição (Equação 12), permite decidir quais serão os p pátios selecionados dentro de P . A quarta restrição (Equação 15) garante que a capacidade máxima do pátio (Q_j) não seja ultrapassada; e a restrição (Equação 16) garante que uma árvore i não seja ligada a um pátio j além da distância máxima de ligação ($D_{\text{máx}}$).

O banco de dados para processamento foi composto pelas árvores definidas para serem abatidas juntamente com as informações obtidas no inventário florestal censitário. Foi confeccionado um *shapefile* por meio do *software* Arcgis 10.2[®], no qual foi criada uma malha de 685 pontos equidistantes 30 metros na área de estudo do PFO, em que cada ponto representa um possível pátio de estocagem de madeira. A matriz de ligação de cada árvore a cada pátio foi calculada no *software* R pela fórmula da distância euclidiana utilizando as coordenadas das árvores e dos 685 possíveis pátios. O relevo da área de estudo é classificado como plano. Por esse motivo, não foram identificadas áreas restritas à instalação de infraestrutura em função do relevo, não houve também a presença de área de preservação permanente (APP) ou qualquer outro tipo de restrição na área. Caso houvesse alguma restrição de área, os possíveis pátios que tivessem sua localização dentro dessas áreas seriam excluídos para impedir uma alocação de infraestrutura em local não apropriado.

De posse do banco de dados, foi solucionado o problema por método exato no *software* CPLEX 12.7[®] versão acadêmica. Os limites possíveis das restrições foram estabelecidos de acordo com o tomador de decisão responsável pelo projeto na empresa. Foram avaliados 48 cenários, representando combinações entre a distância máxima de arraste da tora (250 m, 300 m, 350 m e >350m), a capacidade de volume do pátio de estocagem (300 m³, 350 m³, 400 m³ e >400m³) e a quantidade de pátios de estocagem (3, 4 e 5 pátios). Com base no valor da FO e na disposição dos pátios em campo de cada cenário, o tomador de decisão definiu o melhor cenário viável a ser implementado em campo. Posteriormente, foram definidas as estradas de acesso aos pátios e confeccionados os mapas para a exploração de cada pátio de estocagem.

No planejamento da infraestrutura de estradas florestais, foram priorizados o menor caminho viável e as estradas com forma a mais retilínea possíveis. Este planejamento foi realizado manualmente com base na experiência do tomador de decisão.

7.2.5 Item 3 do fluxograma: Análise dos resultados obtidos

Para se comparar o desempenho dos métodos de planejamento avaliados, isto é, PFT e PFO, foram levados em conta três critérios relevantes na exploração de floresta tropicais em regime de manejo, a saber: Produtividade, movimentação do Skidder dentro da área de exploração e o desempenho econômico da operação de acordo com cada método de planejamento.

Para se obter medidas de produtividade, foram monitoradas as atividades de arraste de toras para 11 pátios de estocagem de madeira na área de estudo. Destes 11 pátios, seis foram alocados de acordo com o PFT e cinco de acordo com o PFO. O conjunto de máquinas utilizadas na atividade de extração foi composto por um trator florestal Skidder de garra 525 D Caterpillar e uma pá carregadeira 938 K Caterpillar. Além disso, toda a operação de extração foi acompanhada por uma equipe que monitorou a medição do volume e a identificação das toras.

Para o cálculo da produtividade, foi necessário mensurar o tempo efetivo da atividade de arraste das toras. Esse tempo foi calculado em horas, do início ao fim da atividade, com auxílio de um cronômetro. Também foram cronometradas eventuais paradas na atividade e deduzidas do tempo total da atividade.

O volume das toras colhidas foi calculado pelo método de Smalian (LAAR; AKÇA, 2007). Para isso, foram realizadas medidas de diâmetros na ponta mais fina e na ponta mais grossa de cada tora, empregando-se uma trena, sendo a medida de diâmetro realizada na face de corte. O comprimento de cada tora também foi medido empregando-se uma trena. Para se calcular o volume estocado em cada pátio, foram somados os volumes individuais de cada tora (Q_i) calculados pelo método de Smalian das toras armazenadas no respectivo pátio.

A produtividade de arraste de cada pátio foi obtida com a Equação 17.

$$P_r = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{he} \quad (17)$$

Em que: P_r = produtividade da operação de arraste ($m^3 \cdot h^{-1}$ ou árvores. h^{-1}); i = número de toras ou árvores arrastadas; Q_i = volume individual da tora i (m^3) ou árvore i ; e, he = tempo efetivo de trabalho por pátio (horas).

Para se avaliar a movimentação do Skidder dentro da área de exploração, foi empregado um aparelho de Global Positioning System (GPS) modelo Garmin 76 CSx, o qual foi acoplado ao trator florestal Skidder para monitorar seu percurso. Após a coleta dos dados, as informações obtidas pelo GPS foram transformadas em *shapefile*, o que permite produzir mapas que representam o percurso do arraste das árvores do local de corte até os pátios de estocagem.

Um problema que ocorre ao se empregar o GPS é que, ao movimentar-se de forma contínua junto com o trator, em alguns momentos, pode haver perda de sinal, o que gera descontinuidade no desenho do trajeto. Por outro lado, é normal que o trator utilize uma mesma trilha de arraste várias vezes para arrastar diferentes árvores. Admitindo-se que o trajeto mapeado pelo GPS referente a uma mesma trilha repetiu-se várias vezes, foi feito um trabalho manual para identificar a trilha mais provável seguida pelo trator com o intuito de corrigir os erros de descontinuidade mencionados, comparando-se todas as repetições e corrigindo-se as descontinuidades apresentadas.

A partir das informações das árvores que foram arrastadas e do percurso do trator florestal Skidder, foi possível quantificar, com precisão, a distância de ligação árvore-pátio individual de arraste de cada tora até o pátio de destino em ambiente de sistema de informação geográfica (SIG). A distância de ligação árvore-pátio, pode ser compreendida como a distância percorrida pelo trator do pátio até a árvore. Já, a distância percorrida pelo trator de ida até à árvore e de volta até ao pátio representa, por sua vez, o ciclo de arraste.

Para mensurar o desempenho econômico em termos de custo das operações realizadas, inicialmente é muito importante delimitar quais foram os itens de custo considerados na comparação dos dois métodos de planejamento. Estes itens de custo restringiram-se ao processo de extração das toras. No caso deste trabalho, considera-se como atividade de arraste de toras o processo de extração da tora pelo trator florestal Skidder. Nesse sentido, uma vez definida a atividade de extração de toras e os seus respectivos itens de custo, foi empregada uma metodologia de avaliação de custos adequada de modo a se obter o custo total por hora dessa operação. A metodologia de obtenção dos custos é descrita no Capítulo 1. Como resultado, chegou-se a um custo de extração de R\$ 386,45 h⁻¹ de atividade de arraste de toras.

Os itens de custo que levaram ao valor de R\$ 386,45 por hora de atividade de arraste, resumem-se aos custos ligados ao trator e à equipe que o opera. Imaginando que a empresa florestal contrate uma empresa para prestar o serviço, a mesma irá se preocupar em formular um preço que expresse o custo total do uso do trator por hora, independente de qual processo de extração ele utilizará (PFT e PFO). Com base nisso, o custo total de R\$ 386,45 por hora de atividade de arraste foi utilizado como referência neste trabalho tanto no PFT quanto no PFO.

Assim, considerando que o custo por hora de extração nos dois métodos é o mesmo, como critério de comparação de desempenho econômico desses métodos de planejamento analisados, usou-se uma medida de produtividade do arraste, isto é, custo de volume arrastado (R\$.m⁻³). Para se chegar a esse valor para os dois métodos avaliados, foi calculada a razão entre o custo total de arraste para cada um dos métodos pelo volume total arrastado para cada um dos métodos de acordo com a Equação (18):

$$De_i = \frac{CT_i}{VT_i} \quad (18)$$

Em que: De_i = desempenho econômico; i = planejamento avaliado ($i = \text{PFT, PFO}$); CT_i = custo total do planejamento i ; e VT_i = volume total do planejamento i .

Assim, o método que apresentar o menor custo por m³ arrastado será considerado, sob o ponto de vista econômico, o mais vantajoso.

7.3 RESULTADOS

Com intuito de orientar o leitor, os resultados são apresentados em duas partes. A primeira parte se dedica a apresentar os resultados relacionados apenas ao planejamento, considerando que, de acordo com a Figura 8, foram definidas duas áreas de estudo: na primeira (área 1) decidiu-se adotar o PFO e na segunda (área 2) o PFT.

Admitindo-se que na área 1 foi adotado o PFO, no item 7.3.1 são apresentados resultados que permitem comparar, em termos de estradas florestais e distância euclidiana de ligação árvore-pátio, o que aconteceria se hipoteticamente o PFT tivesse sido adotado.

Considerando-se que na área 2 foi adotado o PFT, no item 7.3.2 são apresentados resultados que permitem comparar, em termos de estradas florestais e distância euclidiana de ligação árvore-pátio, o que aconteceria se hipoteticamente, o PFO tivesse sido adotado.

A segunda parte dos resultados, item 7.5.3, se dedica a comparar, em termos de execução, o PFO e o PFT, aplicados respectivamente às áreas 1 e 2.

7.3.1 Comparação entre PFT e PFO na área em que o PFO foi implementado

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 (

Figura 9). De acordo com este planejamento, ao extrair as árvores previstas para corte e movê-las para os pátios, seria percorrida uma distância euclidiana de ligação árvore-pátio total de 54,49 km (Tabela 16).

De acordo com o proposto nesse trabalho, a referida área não seguiu o PFT, e sim o PFO. Seguindo a metodologia adotada para o PFO, ao analisar os 48 cenários propostos, considerando o valor da FO e a localização geográfica dos pátios em cada um deles, foi selecionado o cenário que alocou cinco pátios, com restrição máxima de volume de 350 m³ e restrição de distância máxima de arraste de 250 m, como sendo o melhor a ser executado em campo.

Ao utilizar o PFO no lugar do PFT na área estudada, a distância euclidiana de ligação árvore-pátio total de 54,49 km foi reduzida para 43,47 km. Essa redução pode ser atribuída ao processo de otimização, que em termos relativos corresponde a 20,22%. Por outro lado, a quantidade de estradas florestais no PFT foi de 1,47 km e no PFO de 1,70 km, havendo um aumento de 13,66%.

7.3.2 Comparação entre PFO e PFT na área em que o PFT foi implementado

Como mencionado anteriormente, havia um planejamento de extração das árvores realizado pela empresa que não levou em consideração nenhuma técnica de otimização. A título de comparação entre os planejamentos, foi replicado o modelo de programação matemática utilizado na área do PFO para a área com PFT. De acordo com o PFT, ao se extrair as árvores previstas para corte e movê-las para os pátios, seria percorrida uma distância euclidiana de ligação árvore-pátio total de 58,98 km (Tabela 16).

Se na área que foi executado o PFT tivesse sido utilizado o PFO, a distância euclidiana de ligação árvore-pátio total seria reduzida 20,23% (11,93 km). A quantidade de estradas do PFT foi de 2,03 km e no PFO de 2,00 km, havendo uma redução de 1,55%.

7.3.3 Comparação em termos de execução entre o PFO e o PFT

Antes de iniciar as comparações entre o PFO e PFT em termos de execução, é relevante mencionar que no momento da execução nem tudo aquilo que foi planejado consegue ser perfeitamente posto em prática. Essa diferença, que é normal ocorrer, é motivada pela inviabilidade de abate de algumas árvores por questões de segurança ou pelo fato de o fuste não apresentar qualidade comercial (e. g. fuste oco, tortuoso e atacado por pragas).

A comparação entre as Tabela 16 e Tabela 17 é equivalente à comparação entre o planejado e o executado. Dessa comparação, o principal destaque é que, em média, houve uma redução de 29,56% do número de árvores planejadas para abate pelas razões já alegadas.

Tabela 17 – Comparação quantitativa das duas áreas do estudo, situada na FLONA Saracá-Taquera, UPA-04/2018, UT-2, Oriximiná/Terra Santa, Pará, Brasil.

Planejamento	Área (ha)	Tempo de arraste (h)	Nº de pátios	Nº de Árv.	Volume (m ³)	Média (m ³ .árv. ⁻¹)	Área média do pátio (ha)*
PFT	68,66	32,50	6	248	1.119,06	4,51	11,44
PFO	57,75	26,12	5	269	1.211,38	4,50	11,55

*área de representatividade do pátio de estocagem (Coluna 2 dividida pela Coluna 4 dessa Tabela).

Por outro lado, antes de apresentar qualquer resultado de comparação, vale lembrar que seria impossível aplicar o PFO e o PFT em uma mesma área. Assim, para que as comparações sejam dignas de confiança, é importante que as áreas sejam as mais parecidas possíveis. Nesse sentido, a Figura 8 e a Tabela 17 são úteis, pois permitem verificar que as áreas estudadas (área 1 e 2) apresentam similaridade em termos de área, relevo plano, número de árvores e volume médio por árvore.

Na Tabela 18, são apresentadas as variáveis analisadas durante a atividade de arraste de cada pátio, para cada tipo de planejamento (PFO e PFT). A produtividade média de arraste de árvore foi de 7,8 árv.h⁻¹ e o coeficiente de variação [CV(%)] entre os pátios foi de 12,39% para o PFT. Já no PFO, foi de 10,3 árv.h⁻¹ e o CV(%) de 6,79%. Ao analisar a produtividade (média) em m³ de madeira arrastada, o PFT obteve 35,78 m³.h⁻¹ e CV(%) entre os pátios de 13,35% e no PFO foi 46,42 m³.h⁻¹ e CV(%) de 8,42%. Em termos relativos, o aumento da produtividade do PFO em relação ao PFT foi de 32,05% (árv.h⁻¹) e de 29,74% (m³.h⁻¹).

Tabela 18 – Variáveis analisadas durante a atividade de arraste de cada pátio do estudo, situada na FLONA Saracá-Taquera, UPA-04/2018, UT-2, Oriximiná/Terra Santa, Pará, Brasil.

Planejamento	Pátio	Tempo total (h)	Nº de árv.	Vol. (m ³)	Dist. total (km)	Dist. méd.árv. ⁻¹ (m)	Árv.h ⁻¹	m ³ .h ⁻¹
PFT	12	2,82	20	127,64	8,60	429,78	7,10	45,32
	13	7,80	56	268,12	22,50	401,81	7,18	34,37
	14	5,63	47	192,32	18,29	389,12	8,34	34,14
	15	3,08	30	116,22	6,91	230,41	9,73	37,69
	16	7,00	51	213,80	17,49	342,97	7,29	30,54
	17	6,17	44	200,96	12,63	287,02	7,14	32,59
PFO	19	5,60	55	226,22	16,87	306,71	9,82	40,40
	20	5,80	67	300,41	16,57	247,36	11,55	51,80
	21	4,75	49	209,02	13,33	271,95	10,32	44,00
	22	6,73	64	318,82	17,53	273,86	9,50	47,35
	23	3,23	34	156,91	8,40	246,97	10,52	48,53

Em que: Tempo total (h)= tempo total da atividade de arraste de cada pátio de estocagem de madeira; Nº de árv.= quantidade de árvores arrastadas para cada pátio de estocagem; Vol. (m³)= quantidade de volume armazenado em cada pátio de estocagem; Dist. total (m)= distância total (ida e volta) percorrida pelo trator Skidder durante o arraste das toras; Dist. méd.árv.⁻¹= distância média por cada árvore; Árv.h⁻¹= rendimento médio de árvores arrastadas; e m³.h⁻¹= rendimento médio de volume arrastado.

Ao avaliar a distância total percorrida por hora (m.h⁻¹) do trator Skidder nos dois planejamentos, em média, no PFT foi percorrido 2,66 km.h⁻¹ e no PFO 2,78 km.h⁻¹, sendo a diferença entre os dois planejamentos de 0,11 km.

Os valores observados de distância média de arraste são apresentados na Tabela 19, foi considerada apenas a distância de ligação árvore-pátio. A

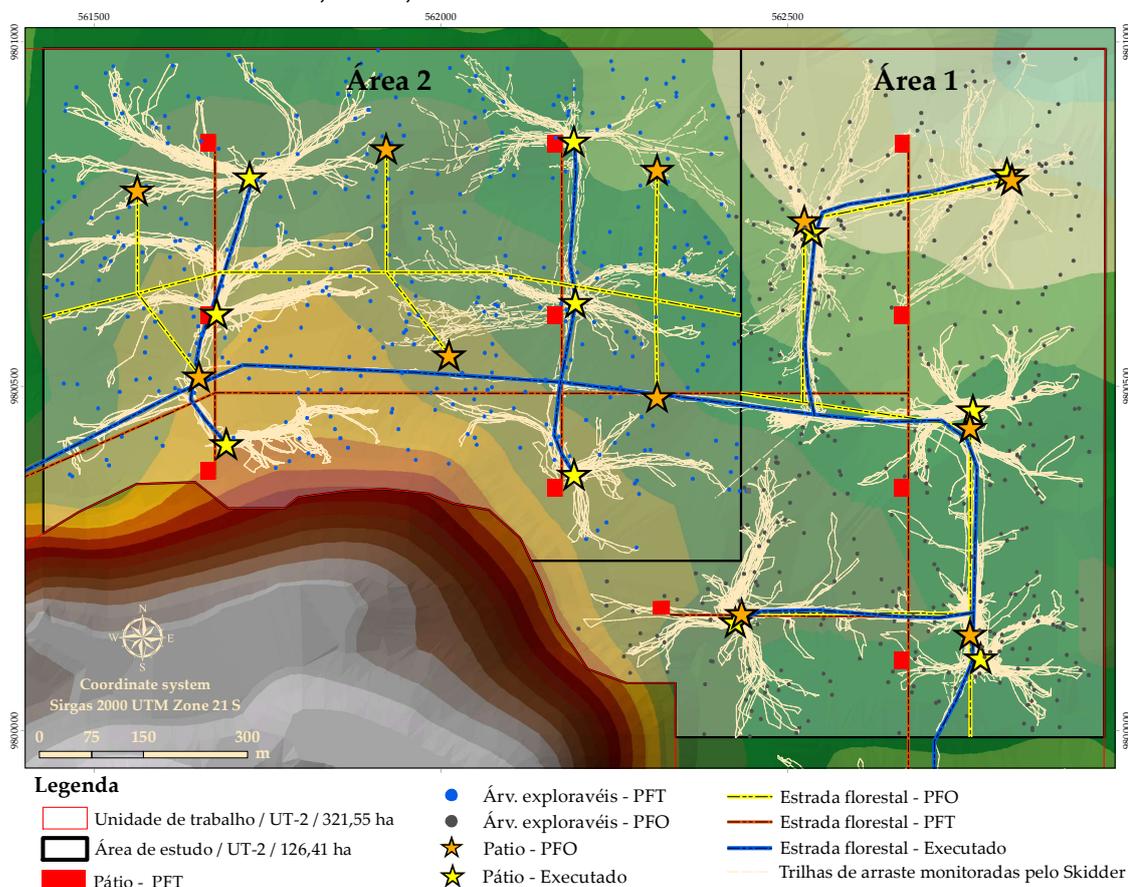
média dessa ligação no PFT foi de 165,61 m e CV(%) de 12,93% entre os pátios, no PFO a média foi de 137,20 m e CV(%) de 11,44%. Em geral, o PFO proporcionou uma redução de 17,16%, cerca de 56,82 m em cada ciclo de arraste.

Tabela 19 – Valores de distância total de arraste, número de ciclos observados e média da distância de ligação de arraste em cada planejamento na área de estudo, situada na FLONA Saracá-Taquera, UPA-04/2018, UT-2, Oriximiná/Terra Santa, Pará, Brasil.

Planejamento	Pátio	Distância total (km)	Nº de ciclos de arraste	Média da dist. Árvore-pátio (m)
PFT	12	4,30	28	153,49
	13	10,00	54	185,19
	14	8,50	43	197,73
	15	3,11	21	148,18
	16	7,07	41	172,46
	17	5,87	43	136,62
PFO	19	7,39	46	160,55
	20	7,28	54	134,74
	21	6,56	44	149,12
	22	7,12	59	120,76
	23	3,38	28	120,81

A execução fidedigna do projeto planejado é um fator importante em áreas de manejo florestal. Contudo, podem ocorrer modificações durante a execução por dois motivos principais: o primeiro está ligado à qualificação da mão de obra em executar o planejamento, e o segundo está relacionado às adversidades encontradas em campo. Na Figura 10 pode ser observado a precisão da execução da exploração em campo do PFT e PFO.

Figura 10 – Infraestrutura de estradas florestais, pátios e trilhas de arraste do planejamento e da execução em campo da metodologia tradicional e otimizada da área de estudo, situada na FLONA Saracá-Taquera, UPA-04/2018, UT-2, Oriximiná/Terra Santa, Pará, Brasil.



7.4 DISCUSSÃO

7.4.1 Comparação entre o PFT e PFO nas áreas 1 e 2

Ao considerar apenas o planejamento, os resultados encontrados nos itens 7.3.1 e 7.3.2 mostram tendência semelhante, isto é, o PFO promove redução significativa na distância euclidiana de ligação árvore-pátio quando comparado ao PFT. Este resultado é esperado uma vez que no PFT os pátios são alocados seguindo o critério sistemático que não leva em conta a distribuição espacial das árvores na floresta. Contudo, no PFO isto é explicitado na FO do modelo que busca minimizar a distância euclidiana de ligação árvore-pátio.

Por outro lado, no que diz respeito às estradas florestais, o PFO sugere na área 1 construir 13,66% a mais de estradas e na área 2, 1,55% a menos.

Entretanto, construir 13,66% a mais de estrada deve ser interpretado com devido cuidado. O primeiro fato a ser analisado é que construir estrada é mais oneroso e tem maior custo que construir trilhas de arraste, pois exige o revolvimento do solo. Sob esse ponto de vista, construir mais estradas é um resultado negativo.

Contudo, em uma estrada secundária (estradas para escoamento das toras dos pátios que foram abertos, com largura média de 4 metros), pode-se dizer que um metro linear de estrada corresponde a um metro linear de trilha de arraste, uma vez que essa também apresenta largura média de 4 metros. Assim, os resultados apresentados nos itens 7.3.1 e 7.3.2 indicam que a necessidade de construção de estradas em relação a necessidade de construção de trilhas de arraste (nesse momento é representado hipoteticamente pela distância euclidiana árvore-pátio), em metros lineares, nas áreas 1 e 2, levando em conta o PFO, foi de 3,91% e 4,25%, respectivamente. Isto significa que os totais de estradas, em metros lineares, nas áreas 1 e 2, correspondem a 3,91% e 4,25%, respectivamente, dos totais de trilhas de arraste, ou seja, as trilhas de arraste impactam uma área muito maior. Note que, para a área 1 (item 7.3.1), em termos absolutos, o PFO sugeriu um acréscimo de construção de estrada de 0,23 km, mas este acréscimo proporcionou uma redução nas trilhas de arraste de 11,02 km. No caso da área 2, além de o PFO sugerir redução da construção de estradas, ele também sugeriu uma redução de 12,93 km na construção de trilhas de arraste, indicando que o modelo otimizado apresenta significativo potencial de tornar a exploração florestal um processo menos empírico e, com isso, menos impactante.

7.4.2 Comparação entre o PFO e o PFT na execução da exploração

Quando se leva em conta o planejamento e a execução, no caso deste trabalho, encontrou-se uma diferença média de 29,56% (considerando-se o PFT e o PFO), em termos de número de árvores selecionadas para corte e as que de fato foram abatidas. Essa diferença está fortemente associada aos dados do inventário florestal, fornecidos pela empresa, que foram inputs dos modelos utilizados nesse trabalho. Evidentemente que o valor de 29,56% poderia ser bem menor, indicando que a melhoria nos métodos de inventário certamente

colaborará para a redução entre o planejado e o executado, sendo essa uma oportunidade de se otimizar o processo.

A acurácia do inventário florestal é importante tanto para a fase de planejamento quanto para a fase de execução do projeto, porque é com base nas informações das árvores selecionadas para a exploração que é planejada toda a infraestrutura do MFS. O modelo do PFO considera a localização das árvores para definir as distâncias até um possível pátio de estocagem de madeira. Assim, torna-se crucial a melhor informação de posicionamento possível, tendo em vista que a localização pode interferir negativamente no desempenho do planejamento.

Por outro lado, quando se compara a execução do planejamento nas áreas 1 e 2 em termos de desempenho, inicialmente é importante lembrar a similaridade entre estas áreas, argumentada no item 7.5.3. Admitindo essa similaridade, pode-se aferir com mais clareza o desempenho de cada método.

Ao analisar a produtividade dos dois planejamentos, o melhor desempenho do PFO em relação ao PFT, isto é, aumento da produtividade de arraste de árvores em 32,66% e de volume em 29,74%, se deve basicamente ao empirismo inerente às decisões tomadas no PFT. No caso do PFO, a decisão envolve muito mais análise, com uma alocação de pátios que leva em conta um número maior de variáveis, de modo que cada pátio forma o melhor cluster possível de árvores, diferentemente do PFT. Além disso, é fundamental para esse resultado o fato de que o PFT não leva em conta a distribuição espacial das árvores. Em uma floresta tropical nativa, esta distribuição é imprevisível, podendo variar significativamente. Ao não levar tal fato em consideração, o PFT tem grandes chances de não selecionar os melhores clusters de árvores no sentido de produzir a melhor produtividade de arraste.

Na discussão da variação existente entre a produtividade de volume para os diferentes pátios, os resultados mostraram que essa variação foi maior no PFT, isto é, a produtividade em volume no PFT além de ter sido menor do que no PFO, ela oscilou mais. Esta maior oscilação no PFT também está fortemente associada à formação dos clusters de árvores a serem arrastadas para cada pátio. Por não levar em conta a questão espacial e usar um procedimento sistemático para a alocação dos pátios, é normal que no PFT, algumas vezes, se formem clusters com maior número de árvores mais próximas entre si e, por

outras vezes, clusters com menor número de árvores e mais espaçadas entre si, gerando maior variação da produtividade. Por outro lado, ao considerar a questão espacial, o PFO tende a formar clusters mais homogêneos em termos de número de árvores e distância entre elas e o pátio.

Ao analisar as distâncias médias percorridas pelo trator florestal Skidder por pátio, 2,66 km.h⁻¹ no PFT e 2,78 km.h⁻¹ no PFO (Tabela 19), a diferença média foi de 0,11 km. Esta análise corrobora a eficiência do PFO, pois a distância média percorrida está relacionada com a velocidade de deslocamento do trator florestal Skidder, que aparentemente não foi alterada. Assim, a maior produtividade do arraste de toras (árv.h⁻¹ e m³.h⁻¹) do PFO pode ser atribuída ao melhor posicionamento dos pátios, o que refletiu no aumento da quantidade de ciclos de arraste por hora. Ou seja, o trator florestal Skidder se movimentou de forma mais estratégica no PFO.

A distância percorrida no arraste de toras tem ligação direta com a alocação dos pátios, em função do deslocamento do trator Skidder do pátio até a árvore. Na Tabela 19, estão os valores de distância média em função da quantidade de ciclos de arraste analisados no estudo, cuja distância total compreende o somatório de todas as ligações árvore-pátio dos ciclos de arraste observados. Em média, a distância de arraste foi reduzida em 17,16% com o PFO. Considerando a distância total de arraste das toras de 86,42 km do PFT (Tabela 18), caso a mesma área fosse planejada com o PFO, haveria uma redução estimada de 14,83 km no arraste de toras. Estes valores absolutos de redução do PFO são escalares, ou seja, quanto maior a área explorada maior o ganho. Considerando que a área do PFT (68,66 ha) teve uma redução estimada de 14,83 km da distância percorrida no arraste de toras, na área da UPA – 2018 (1.133,08 ha) esta redução poderia alcançar 244,72 km.

Ao calcular o custo do m³ de acordo com a Equação 15, o custo do m³ arrastado no PFT foi de R\$ 11,22 m⁻³ e no PFO R\$ 8,33 m⁻³. Em termos relativos, representa uma redução de custos 25,76%. Dessa forma, pode-se considerar que a cada 1.000 m³ arrastados adotando o PFO, a economia seria de R\$ 2.890,27.

Na área da pesquisa, o planejamento sistemático é favorecido, principalmente, pelo relevo plano e por poucas áreas de APP. Dentre os seis pátios analisados com o PFT, houve pátios com rendimento de arraste (árv.h⁻¹)

semelhante ao do PFO, como pode ser observado nos pátios 14 e 15, da Tabela 18. Porém, em áreas de relevo mais ondulados e com uma maior presença de APP, o planejamento sistemático tende a ser menos eficiente.

O PFO foi superior ao PFT, com uma alocação de pátios mais precisa, no qual cada pátio formou o melhor cluster possível de árvores, diferentemente do PFT. O PFO pode ser uma ferramenta robusta para diferentes tipologias florestais e condições de terreno, em função da possibilidade de flexibilização de restrições e da rapidez na análise de diferentes cenários.

Por fim, a implementação do PFO não interferiu nas atividades de exploração. Esse fato é um ponto importante para a adoção de novas tecnologias nas empresas florestais, pois não houve alteração na dinâmica das atividades em campo, já que somente a forma de planejamento foi alterada. O emprego de novas metodologias que promovam mudanças significativas na execução das atividades em campo, tendem a ter uma maior resistência à adoção pelas empresas, por motivos de custos de capacitação e de tempo empregado na transferência de tecnologia.

7.5 CONCLUSÃO

Ao considerar apenas o planejamento, o PFO proporcionou uma redução significativa da distância euclidiana de ligação árvore-pátio sem grandes variações na quantidade planejada de estradas florestais quando comparado ao PFT.

A execução do PFO proporcionou o aumento da produtividade da atividade de arraste de toras ao alocar de forma eficiente os pátios de estocagem de madeira quando comparado ao PFT.

Para a implementação do PFO não houve necessidade de mudança da rotina das atividades de campo ou capacitação da equipe envolvida, esse fato representa um ponto positivo para no emprego da metodologia por empresas florestais.

7.6 REFERÊNCIAS

AMARAL, P. et al. **Floresta para sempre: Um manual para a produção de madeira na Amazônia.** Belém:Pará: Imazon, 1998.

ARENALES, M. et al. **Pesquisa operacional.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

BRAMUCCI, M.; SEIXAS, F. Determinação e quantificação de fatores de influência sobre a produtividade de “ harvesters ” na colheita florestal. **Scientia Forestalis**, n. 62, p. 62–74, 2002.

BRASIL. **Instrução Normativa 05, de 11 de dezembro de 2006.** Dispõe sobre a Autorização Prévia à Análise Técnica de Plano de Manejo Florestal Sustentável-APAT, e dá outras providências . Ministério do Meio Ambiente/IBAMA, 2006. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/estruturas/pnf/_arquivos/in_mma_04-06.pdf>

BRASIL. **Resolução 406, 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 com fins madeireiros, para florestas nativas e suas formas de sucessão no bioma Amazônia. Ministério, 2009. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=597>>

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, 2010.

BRAZ, E. M.; D’OLIVEIRA, M. V. N. **Planejamento de arraste mecanizado em floresta tropical.** Instruções Técnicas. Rio Branco, AC: EMBRAPA, 1997.

CONTRERAS, M.; CHUNG, W. A 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, n. 2, p. 276–292, fev. 2007.

DANESHZAND, F.; SHOELEH, R. **Facility location.** Heidelberg: Physica-Verlag HD, 2009.

DASKIN, M. S. **Network and discrete location.** Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 1995.

DREZNER, Z.; HAMACHER, H. W. **Facility location.** Heidelberg: Physica-Verlag HD, 2009.

EISELT, H. A.; SANDBLOM, C.-L. **Decision analysis, location models, and scheduling problems.** Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2004.

EISELT, H. A.; MARIANOV, V. **Foundations of location.** Boston, MA: Springer US, 2011. v. 155

FAO. **Logging and log transport in tropical high forest: a manual on**

production and costs. Roma: (FAO. fprest Series, 5, FAO. Forestry Development Paper,18), 1974.

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

FÁVERO, L. P.; BELFIORE, P. **Pesquisa operacional para cursos de engenharia.** Rio de janeiro: Elsevier, 2013.

FIGUEIREDO, E. O.; BRAZ, E. M.; D'OLIVEIRA, M. V. N. **Manejo de precisão em florestas tropicais: modelo digital de exploração florestal.** Rio Branco, AC: EMBRAPA, Acre, 2007.

GOLDBARG, M. C. **Programação linear e fluxos em redes.** 1. ed. Rio de janeiro: Elsevier, 2015.

GOLDBARG, M. C.; LUNA, H. P. L. **Otimização combinatória e programação linear: Modelos e Algoritmos.** 2. ed. Rio de janeiro: Elsevier, 2005.

GOMIDE, L. R.; MOURA, A. L. DE M.; MELLO, J. M. DE. **Simulação otimizada da exploração florestal de impacto reduzido em uma mata nativa localizada em Lavras, MG.** XX congresso de pós-graduação da UFLA. Lavras, MG: Universidade Federal de Lavras, 2011.

HURTER, A. P.; MARTINICH, J. S. **Facility location and the theory of production.** Dordrecht: Springer Netherlands, 1989.

IBAMA. **Norma de execução n.º 1, de 24 abril de 2007.** Institui, no âmbito desta Autarquia, as Diretrizes Técnicas para Elaboração dos Planos de Manejo Florestal Sustentável – PMFS. Instituto Brasileiro do meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, 2007. Disponível em: <https://www.gret.org/static/cdrom/floresta_viva_amazonas/Files/norma_exec_IBAMA_01_240407.pdf>

ISSAC 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: SBPO, 2014.

KARLSSON, J.; RÖNNQVIST, M.; BERGSTRÖM, J. An optimization model for annual harvest planning. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 34, n. 8, p. 1747–1754, ago. 2004.

KLOSE, A.; DREXL, A. **Facility location models for distribution system design.** European Journal of Operational Research. 2005. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0377221703008191>>.

LUENBERGER, D. G.; YE, Y. **Linear and Nonlinear Programming.** Cham: Springer International Publishing, 2016.

MACHADO, M. P. O. **Custo do manejo florestal madeireiro na Amazônia: um estudo de caso no Estado do Acre, 2012.** 2013. 75 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Acre, Rio Branco., 2013.

- MACHADO, S. DO A. **Dendrometria**. 2° ed. Guarapuava: Unicentro, 2009.
- MARTINHAGO, A. Z. **Otimização para a locação de pátios de estocagem para exploração de impacto reduzido na amazônia brasileira**. 2012. 236 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.
- MURRAY, A. T.; SNYDER, S. Spatial Modeling in Forest Management and Natural Resource Planning. **Forest Science**, v. 46, n. 2, p. 153–156, maio 2000.
- PADBERG, M.; RIJAL, M. P. **Location, scheduling, design and integer programming**. Boston, MA: Springer US, 1996. v. 3
- PHILIPPART, J. et al. Mathematical formulation and exact solution for landing location problem in tropical forest selective logging, a case study in Southeast Cameroon. **Journal of Forest Economics**, v. 18, n. 2, p. 113–122, abr. 2012.
- SHAHI, S.; PULKKI, R. Supply Chain Network Optimization of the Canadian Forest Products Industry: A Critical Review. **American Journal of Industrial and Business Management**, v. 03, n. 07, p. 631, nov. 2013.
- SILVA, E. F. DA et al. Allocation of storage yards in management plans in the Amazon by means of mathematical programming. **Forests**, v. 9, n. 3, p. 127, 8 mar. 2018a.
- SILVA, P. H. DA et al. Optimal selective logging regime and log landing location models: a case study in the Amazon forest. **Acta Amazonica**, v. 48, n. 1, p. 18–27, mar. 2018b.
- SIST, P. Les techniques d' exploitation à faible impact. **Bois et Forêt des Tropiques**, v. 265, p. 31–40, 2000.
- SØVDE, N. E.; LØKKETANGEN, A.; TALBOT, B. Applicability of the GRASP metaheuristic method in designing machine trail layout. **Forest Science and Technology**, v. 9, n. 4, p. 187–194, dez. 2013.
- SULE, D. R. **Logistics of facility location and allocation**. 1° ed. Ruston, Louisiana: Marcel Dekker, Inc., 2001.