



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

EVANDRO FERREIRA DA SILVA

**ALOCAÇÃO DE PÁTIOS DE ESTOCAGEM EM PLANOS DE MANEJO NA
AMAZÔNIA POR MEIO DE PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA**

JERÔNIMO MONTEIRO - ES

2015

EVANDRO FERREIRA DA SILVA

**ALOCAÇÃO DE PÁTIOS DE ESTOCAGEM EM PLANOS DE MANEJO NA
AMAZÔNIA POR MEIO DE PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA**

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

Orientador: Prof. Dr. Gilson Fernandes da Silva

Coorientadores: Prof. Dr. Adriano Ribeiro de Mendonça; Dr. Evandro Orfanó Figueiredo.

JERÔNIMO MONTEIRO - ES

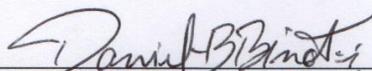
2015

**ALOCAÇÃO DE PÁTIOS DE ESTOCAGEM EM PLANOS DE MANEJO NA
AMAZÔNIA POR MEIO DE PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA**

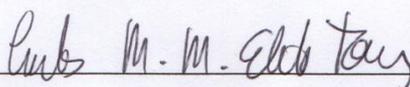
Evandro Ferreira da Silva

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

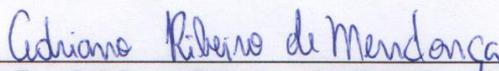
Aprovada em 23 de julho de 2015.



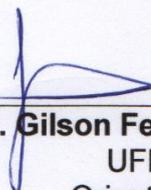
Dr. Daniel Henrique Breda Binoti
DAP Engenharia Florestal
Examinador Externo



Prof. Dr. Carlos Moreira Miquelino Eleto Torres
UFV
Examinador Externo



Prof. Dr. Adriano Ribeiro de Mendonça
UFES
Coorientador



Prof. Dr. Gilson Fernandes da Silva
UFES
Orientador

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

S586a Silva, Evandro Ferreira da, 1990-
Alocação de pátios de estocagem em planos de manejo na
Amazônia por meio de programação matemática / Evandro Ferreira da
Silva. – 2015.
84 f. : il.

Orientador: Gilson Fernandes da Silva.

Coorientadores: Adriano Ribeiro de Mendonça; Evandro Orfanó
Figueiredo.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade
Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias.

1. Manejo florestal. 2. Amazônia. 3. Pesquisa operacional.
4. Planejamento florestal. 5. P-mediana. I. Silva, Gilson Fernandes da.
II. Mendonça, Adriano Ribeiro de. III. Figueiredo, Evandro Orfanó.
IV. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências
Agrárias. V. Título.

CDU: 630

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 o próprio trabalho, mas como não é possível...

Agradeço a DEUS força maior de todas as ações que há neste mundo, onde 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 Antonio Carlos, Evaldo Ferreira, Valdir Ferreira e Valdirene Ferreira que sempre me apoiaram e sempre serão exemplos para mim, sem falar no amor e na certeza de que sempre tudo vai dar certo.

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

O que falar daquela que sempre esteve comigo e me fez enxergar o mundo de outra forma? A minha linda e eterna namorada Simone Santos, por todos os momentos felizes, por sempre ter me apoiado, por ter suportado a distância e por tudo o que ela representa, obrigado Pretinha.

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.

Aos meus coorientadores Professor Adriano Mendonça e Evandro Orfanó, pela simplicidade e compromisso durante a elaboração do trabalho.

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

À Capes pela disponibilização da bolsa.

Aos amigos de república Ronie Juvanhol e Giovanni Vieira pelas conversas, por todas as ajudas e pela convivência.

Aos amigos de Laboratório de quando entrei Rafa, Braulio, Diego, Jeangelis e Giovanni, e aos novos amigos que fiz Luciana, Binoti, Taíse, Marcia, Janiel, Eth, Lili, Luandson e Lorena o meu muito obrigado, com vocês a minha caminhada foi mais leve.

Aos amigos de outros laboratórios e da cidade de “Jerômim” que foram fundamentais nessa jornada Saulo, Marcelo e Anderson pela parceria e churrascos semanais; Denise, Mari, Tami, Rosane e Rosi pela companhia e principalmente por questões gastronômicas. Valeu mesmo!!!

Enfim, a todos que acreditaram ou não, que me ajudaram ou me deixaram mais forte, a todos que contribuíram direta ou indiretamente.

Foi engrandecedor estar na presença de todos.

Agradeço.

“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo”.

Albert Einstein

RESUMO

SILVA, Evandro Ferreira da. **ALOCAÇÃO DE PÁTIOS DE ESTOCAGEM EM PLANOS DE MANEJO NA AMAZÔNIA POR MEIO DE PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA.** 2015. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientador: Prof. Dr. Gilson Fernandes da Silva. Coorientadores: Prof. Dr. Adriano Ribeiro de Mendonça e Dr. Evandro Orfanó Figueiredo.

A introdução do conceito de manejo florestal de precisão possibilitou ao manejo de florestas nativas um ganho significativo no planejamento das atividades de exploração. A metodologia possibilita a criação de um banco de dados com informações quantitativas, qualitativas e de posicionamento global de cada indivíduo inventariado. Embora, essa técnica tenha reduzido custos e impactos ambientais, existem ainda algumas lacunas que devem ser melhoradas, entre elas, a alocação de pátios de estocagem, que até então é realizada de forma arbitrária no planejamento, guiadas pelo raio de abrangência e modelagem do relevo em ambiente computacional. Diante do exposto, o estudo visou o planejamento de locais ideais para realizar a estocagem de madeira, de modo a minimizar as distâncias de arraste. O estudo foi desenvolvido em uma área de 638,1783ha, onde foram alocados 7.896 possíveis pátios de estocagem para atender a demanda de 1.478 indivíduos exploráveis, levando em consideração o modelo de elevação do terreno, indivíduos remanescentes, áreas de preservação permanente e zonas restritas. Por fim, foi realizada a divisão da área em subáreas, guiada pela malha hidrográfica. O modelo identifica locais ótimos de alocação de pátios, regido por restrição de distância e volume máximo estocado. Desse modo, foram testados quatro cenários possíveis. Avaliou-se os resultados por meio da distância euclidiana árvores-pátio e pelo planejamento da exploração florestal. A avaliação pela distância euclidiana resultou em reduções nas distâncias de arraste em todos os cenários, sendo o cenário 1 (restrição de capacidade máxima e de distância máxima) o que apresentou melhor desempenho, resultando em reduções de 16,81%, 21,13%, 16,36% e 7,29%, respectivamente, na soma total das distâncias de arraste, na média das distâncias máximas de arraste, na média das distâncias de arraste e no coeficiente de variação do volume dos pátios. Avaliando o posicionamento em relação ao pátio, o cenário 1 diminuiu em 20%, 32% e 67%, respectivamente, para os intervalos de distância menor que 258 m, entre 258 e

300 m e maior que 300 m. Na análise dos cenários, realizado o planejamento da exploração, quanto ao planejamento das estradas florestais, apenas o cenário 1 apresentou um aumento de 2,83% em relação ao planejamento executado, sendo o cenário 2 o que obteve melhor resultado diminuindo em 18,48% a construção de estradas, seguido do cenário 4 (-9,35%) e cenário 3 (-0,36%). A relevância do impacto ambiental foi crucial para determinação do melhor cenário. Embora o cenário 1 tenha produzido uma resposta com 3,22 km a menos de trilhas de arraste que o cenário 2, ele gerou 2,94 km a mais de construção de estradas florestais, concluindo-se assim pelo melhor desempenho do cenário 2. Quando analisado a estimativa de impactos ambientais, todos os cenários tiveram reduções em relação ao executado, sendo que o cenário 2 gerou o menor impacto ambiental, com redução de 13,90% em relação ao planejamento executado. Desse modo, pode-se concluir que o cenário 2 (modelo com restrição de capacidade máxima de volume por pátio e sem restrição de distância máxima de arraste) obteve o melhor desempenho e que os modelos propostos obtiveram ganho em relação ao planejamento executado.

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

ABSTRACT

SILVA, Evandro Ferreira. **Storage yards allocation in management plans in the amazon in mathematics programming media.**2015. Dissertation (Master in Forest Sciences) - Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Advisor: Prof. Dr. Gilson Fernandes da Silva. Co-advisors: Prof. Dr. Adriano Ribeiro de Mendonça and Dr. Evandro Orfanó Figueiredo.

The introduction of the concept of forest management accuracy has enabled the management of native forests a significant gain in accuracy and detail of exploration activities. The methodology enables the creation of a database with quantitative, qualitative and global positioning of each individual inventoried. Although this technique has reduced costs and environmental impacts, there are still some gaps that need to be improved, including the allocation of cargo handling areas, which so far is carried out arbitrary way in planning, guided by the coverage radius and modeling relief in computing environment. Given the above, the study aimed at the deterministic planning ideal places to hold the wood storage, so as to minimize the distances of drag. The study was developed in an area of 638.1783 ha, which were allocated 7896 possible storage yards to meet the demand of 1,478 exploitable individuals, taking into account the terrain elevation model, remaining individuals, permanent preservation areas and restricted areas. Finally, it performed the division of the area into sub-areas, guided by the river network. The model identifies great places allocation yards, governed by restrictions on distance and maximum volume stored. Thus, we tested four possible scenarios, evaluated the results using the Euclidean trees-yard distance and the planning of forestry. The assessment by the Euclidean distance, resulted in reductions in distances drag in all scenarios, with scenario 1 (restriction of maximum capacity and maximum distance), the scenario with improved performance, resulting in 16.81% of earnings, 21, 13%, 16.36% and 7.29% respectively, the total sum of the distances of drag, average maximum distances of drag, average distances and volume drag coefficient of variation of the courtyards. Evaluating the positioning in relation to the yard, the scenario 1 gave 20% gain, 32% and 67%, respectively for the shorter distance of 258 m intervals, between 258 and 300 m and greater than 300 m. In the analysis of post scenarios planning exploration, as the planning of forest roads, only scenario 1 showed an increase of 2.83% over the planning run, with scenario 2 which obtained better

results in decreasing 18.48% to road construction, followed by scenario 4 (-9.35%) and scenario 3 (-0.36%). The relevance of the environmental impact was crucial to determine the best scenario, although the scenario 1 has 2,94km less than skid trails that scenario 2, holds 3,22km over construction of forest roads, so the scenario 2 obtained better performance. When analyzed the estimation of environmental impacts all scenarios have gains over run, and the stage 2 had lower estimate the generation of environmental impact, with a gain of 13.90% in relation to the planning run. Thus, it can be concluded that the scenario 2 (model with restriction maximum volume capacity and patio without restricting maximum distance carrier) had the best performance and the models proposed have been successful in relation to the planning run.

Keywords: Forest management, Amazon, Operational Research.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Hipóteses	13
1.2	Objetivo geral	13
1.3	Objetivos específicos.....	13
2	Revisão de literatura.....	14
2.1	O manejo florestal na amazônia ocidental.....	14
2.2	Etapas do manejo florestal	17
2.3	Pesquisa operacional	19
2.4	O modelo das <i>p- medianas</i>	22
2.4.1	Formulações do modelo das <i>p-medianas</i>	26
2.5	Aplicação do modelo da <i>p – mediana</i>	29
3	MATERIAI E MÉTODOS	30
3.1	Descrição da área de estudo.....	30
3.2	Plano de manejo e inventário censitário	32
3.3	Metodologia para definição de áreas aptas a alocação de pátios de estocagem..	33
3.3.1	Análise dos dados geográficos	33
3.3.1.1	Obtenção das áreas aptas referentes a declividade	33
3.3.1.2	Obtenção das áreas aptas referentes a áreas de preservação permanentes.	35
3.3.1.3	Obtenção de áreas aptas referente as zonas restritivas	36
3.3.1.4	Definição das áreas aptas referente as árvores remanescentes	37
3.4	Sobreposição ponderada das imagens <i>raster</i>	39
3.5	Criação da localização dos possíveis pátios	42
3.6	Modelos de otimização propostos	43
3.7	Comparação dos cenários com o planejamento executado	46
3.8	Avaliação dos cenários.....	47
3.9	Planejamento das estradas florestais e trilhas de arraste	47
3.10	Estimativa de impactos ambientais na abertura de estradas e trilhas de arraste	48
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
4.1	Análise da alocação dos pátios de estocagem pela distância euclidiana.....	48
4.2	Análise da distribuição dos indivíduos em relação as distâncias euclidianas de arraste dos cenários.....	53
4.3	Análise dos cenários pós planejamento das estradas florestais e trilhas de arraste.....	57
5.	CONCLUSÕES	68
	REFERÊNCIAS.....	69
	Apêndice A — MODELAGEM MATEMÁTICA DO PROBLEMA DE <i>P-MEDIANAS</i>	76
	Apêndice B — TABELAS RESUMO DE ESTATÍSTICAS DOS PLANEJAMENTOS ..	80

1 INTRODUÇÃO

A floresta amazônica possui potencial para a comercialização de produtos madeireiros e não madeireiros, com ampla riqueza de espécies florestais comerciais. A exploração ilegal e de alto impacto fez com que a Amazônia se tornasse alvo de pressões nacionais e internacionais relacionadas à sua conservação. A pressão promovida pelo desmatamento gerou a necessidade da regulamentação da exploração florestal, sendo o manejo de florestas nativas a principal alternativa de produção sustentada.

Este manejo tem sua execução regulamentada pela Norma de Execução n.º 1, de 24 abril de 2007, do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA)(BRASIL, 2007), pela Instrução Normativa n.º 5 de 11 de dezembro de 2006, do Ministério do Meio Ambiente (MMA)(BRASIL, 2006) e pela resolução n.º 406, de 02 de fevereiro de 2009, do Conselho nacional do meio ambiente (CONAMA) (BRASIL, 2006), conforme trata o artigo 20 da Lei Federal 12.651, de 25 de maio de 2012, que vigora o novo código florestal (BRASIL, 2012)

Desse modo, a necessidade de utilização dos recursos florestais faz das técnicas de manejo florestal uma ferramenta importante para compatibilizar o desenvolvimento econômico, social e ambiental (HOSOKAWA et al., 1998; VIANA, 2000; TIMOFEICZYK JUNIOR et al., 2005; ARAÚJO, 2005; ROTTA et al., 2006;).

A técnica de manejo estabelece sua importância em viabilizar a exploração dos recursos florestais renováveis na Amazônia e em especial a madeira de florestas tropicais, tendo como base a diminuição de resíduos, menor impacto a floresta remanescente e assegurar maior segurança de trabalho (AMARAL et al., 1998), sendo que o uso das técnicas preconizadas pelo manejo, visando a utilização dos recursos florestais, é a opção mais sustentável, quando visto sob o ponto de vista de manutenção do ecossistema (BRAZ, 2010).

De 2007 a 2011 foi realizado o cadastro de cerca de 300 milhões de hectares de florestas públicas no Brasil, equivalente aproximadamente a 35% do território brasileiro e cerca de 58% das florestas brasileiras. Dessa forma, o governo passou a administrar as florestas por meio das concessões florestais e em 2010 o Serviço Florestal Brasileiro (SBF), listou 11 potencialidades de concessão entre os estados do Acre, Rondônia e Pará, somando cerca de 5.107.745,55 hectares de floresta

nativa (SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO, 2012), fazendo-se necessário estudos voltados para o aperfeiçoamento do manejo de florestas nativas, priorizando técnicas de exploração de impacto reduzido, avaliações da dinâmica florestal e do potencial madeireiro e redução de custos da exploração.

Diante da demanda, visando suprir lacunas na exploração florestal, uma inovação no planejamento está sendo utilizada tanto em florestas plantadas quanto nas florestas tropicais nativas, relacionada à utilização de geotecnologia, resultando no manejo de precisão, que consiste na utilização do sensoriamento remoto (SR), sistema de informações geográficas (SIG) e sistema de posicionamento global (GPS)(FIGUEIREDO; LIMA, 2008), sendo tecnologias convergentes entre si, cada uma desempenha um papel fundamental no planejamento (RIBEIRO, 2002)

Em 2007, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA Acre) em parceria com a EMBRAPA Floresta e empresas madeireiras, iniciaram o desenvolvimento do Modelo Digital de Exploração Florestal (MODEFLORA), que consiste no georreferenciamento de aspectos ambientais e árvores de potencial econômico na área objeto de manejo (FIGUEIREDO; LIMA, 2008), resultando em um planejamento florestal que propicia a formação de um banco de dados detalhado, podendo assim se aplicar o conceito de manejo florestal de precisão.

O planejamento do manejo florestal de precisão é realizado com o auxílio de ferramentas computacionais que proporcionam a espacialização das informações, porém existem lacunas no planejamento de algumas atividades, que podem ser otimizadas, como o planejamento de estradas, alocação de pátios e trilhas de arraste que são realizadas de forma intuitiva, guiada pelo conhecimento do responsável técnico e por informações geográficas da área.

Desse modo, uma atividade considerada importante é a localização da abertura do pátio, pelo fato de influenciar diretamente no custo de exploração, disposição da construção das estradas, no rendimento de arraste que é uma das atividades mais onerosas do manejo florestal e na geração de impactos ambientais (BRAZ; D'OLIVEIRA, 1997; CONTRERAS; CHUNG, 2007; MACHADO, 2012). A melhor alocação dos pátios resultará no maior rendimento de arraste e na melhor utilização dos mesmos (BRAMUCCI; SEIXAS, 2002).

Diante do exposto, o estudo está focado no planejamento de alocação de pátios de estocagem de madeira, por meio de uma ferramenta que agilize e ofereça suporte à tomada de decisões.

1.1 Hipóteses

A hipótese central é que técnicas de manejo florestal sustentável de impacto reduzido aliadas às ferramentas de SIG e Programação Matemática (PM), aplicadas para otimizar a locação de pátios de estocagem reduzirão os custos e minimizarão os impactos ambientais.

1.2 Objetivo geral

Avaliar a redução da instalação de infraestrutura e impactos ambientais decorrentes de uma nova proposta alternativa de alocação de pátios de estocagem de madeira em área de manejo florestal na Amazônia.

1.3 Objetivos específicos

- Determinar áreas de alocação ótima de pátios de estocagem;
- Otimizar a alocação dos pátios de estocagem visando minimizar as distâncias de arraste;
 - Comparar o planejamento executado com o otimizado por meio das distâncias euclidianas;
 - Comparar o planejamento executado com o otimizado por meio do planejamento da exploração;
 - Comparar o planejamento executado com o otimizado por meio da quantificação da estimativa de impacto ambiental gerado.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O manejo florestal na Amazônia ocidental

O bioma Amazônico tem a dimensão de aproximadamente 5 milhões de km², ocupando cerca da metade do território (FREITAS et al., 2005), representando uma das principais regiões produtoras de madeira tropical no mundo, junto a Malásia e a Indonésia (OIMT, 2006).

O manejo dessas florestas visando à produção de bens de forma sustentável e manutenção dos serviços ambientais passa a ser visto como um desafio e oportunidade (SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO, 2010).

A exploração por muito tempo foi realizada de maneira predatória, sem fundamentos de manejo florestal. No entanto, muito se evoluiu com o desenvolvimento e a aplicação de práticas de exploração de impacto reduzido. Uma pequena porção das áreas exploradas leva, em consideração de fato, a busca pela sustentabilidade da floresta (EMMERT, 2014).

Por sua grande extensão florestal, o governo brasileiro estabeleceu um modelo de manejo florestal na Amazônia que busca a conservação dos recursos florestais, utilizando uma série de medidas e normas para a regularização da exploração florestal. Fazem parte dessas normas a exigência da elaboração dos Planos de Manejo Florestal Sustentável, Planos Operacionais Anuais e o monitoramento do manejo florestal por meio de vistorias técnicas (SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO, 2013).

Conceitualmente, define-se que:

Manejo Florestal Sustentável é a administração da floresta para a obtenção de benefícios econômicos, sociais e ambientais, respeitando-se os mecanismos de sustentação do ecossistema objeto do manejo e considerando-se a utilização de múltiplos produtos e subprodutos, bem como de outros bens e serviços de natureza florestal (SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO, 2013, p. 84).

O manejo de florestas tropicais no Brasil tem sua execução tecnicamente normatizada pela Norma de Execução n.º 1, de 24 de abril de 2007 do IBAMA, que

instituiu as Diretrizes Técnicas para Elaboração dos Planos de Manejo Florestal Sustentável (PMFS) (BRASIL, 2007), na qual trata a Lei Federal 12.651, de 25 de maio de 2012, que vigora o novo código florestal (BRASIL, 2012).

Conforme o exposto, o manejo florestal tem-se firmado por ser uma alternativa que promove renda e gera menor impacto ambiental possível nas funcionalidades ecológicas da floresta (FIGUEIREDO, 2014), pois explorar produtos e serviços florestais em áreas tropicais de alta biodiversidade é uma tarefa de elevada complexidade e, de fato, pesquisas ainda não avançaram o suficiente para responder a muitas questões que envolvem este tema.

Dessa forma, o Brasil apresenta vantagem competitiva, para se tornar um dos maiores fornecedores mundial de madeira serrada tropical, sendo motivado pelo aumento da exportação brasileira e a diminuição das exportações de madeira da Indonésia e Malásia, de tal modo que a produção deve ocorrer de forma sustentável, pois caso contrário, o futuro será tão certo quanto à diminuição de exportações que ocorre na Indonésia e Malásia, sendo necessária a adoção de políticas e projetos que impulsionem o manejo florestal sustentável de florestas naturais (SILVA; SILVA; CORDEIRO, 2012).

O Serviço Florestal Brasileiro; Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (2010) relatam que, em 2009, por meio de levantamento foram identificadas 2.226 empresas madeireiras na Amazônia Legal. No mesmo ano o volume de madeira extraída por essas empresas totalizou cerca de 14,2 milhões de metros cúbicos de madeira em tora, respondendo ao equivalente de 3,5 milhões de árvores, sendo que quase a metade (47%) foi oriunda do Pará, seguido do Mato Grosso (28%), Rondônia (16%) e o restante dentre outros estados.

Desse modo, pode-se observar o potencial madeireiro da floresta amazônica, visto que esse movimentou em 2009 cerca de R\$ 4,94 bilhões e gerou aproximadamente 204 mil empregos diretos e indiretos. (SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO; INSTITUTO DO HOMEM E MEIO AMBIENTE DA AMAZÔNIA, 2010).

Em vista disso, fica evidente a importância em administrar de forma organizada o recurso florestal, por meio de políticas e projetos que visem o melhor aproveitamento do recurso diante da demanda do mercado consumidor de madeira nativa.

As técnicas de planejamento da exploração florestal foram aprimoradas ao longo os anos, até meados de 2007, a metodologia utilizada para inventários florestais censitários era o sistema X e Y, em que as árvores eram localizadas por meio de falsas coordenadas em um plano cartesiano (FIGUEIREDO; BRAZ; OLIVEIRA, 2007).

Esta metodologia era a melhor opção, pois auxiliava no planejamento da exploração e na aplicação de técnicas, embora fosse passiva de alguns problemas como: erro na localização das árvores, sendo influenciada pelo relevo e erros de estimativa; má precisão no levantamento de aspectos geográficos como áreas de nascentes e malha hidrográfica, em 2006 um novo *chipset* para receptores GPS, com alta qualidade de sinal dentro de uma floresta amazônica, possibilitou um planejamento de florestas tropicais com base na agricultura de precisão (FIGUEIREDO, 2014).

No início de 2007, a EMBRAPA divulga a tecnologia MODEFLORA que foi capaz de potencializar o planejamento florestal, reduzir os impactos gerados durante a exploração e reduzir custos. Porém outras demandas tecnológicas e metodológicas ainda são pertinentes para melhorar o planejamento do manejo florestal de precisão, a exemplo do levantamento censitário, estimativa de volume; estimativas de impacto, dentre outras (FIGUEIREDO; LIMA, 2008).

Desse modo, a utilização da tecnologia *Light Detection And Ranging* – LIDAR, aplicada ao planejamento florestal prediz um novo nível de planejamento florestal, destacando-se no meio florestal, tendo como principal diferencial o perfilamento a laser das árvores e maior precisão do modelo de elevação do terreno, resultando na melhor modelagem de áreas de preservação permanente, estradas e trilhas de arraste (FIGUEIREDO, 2014).

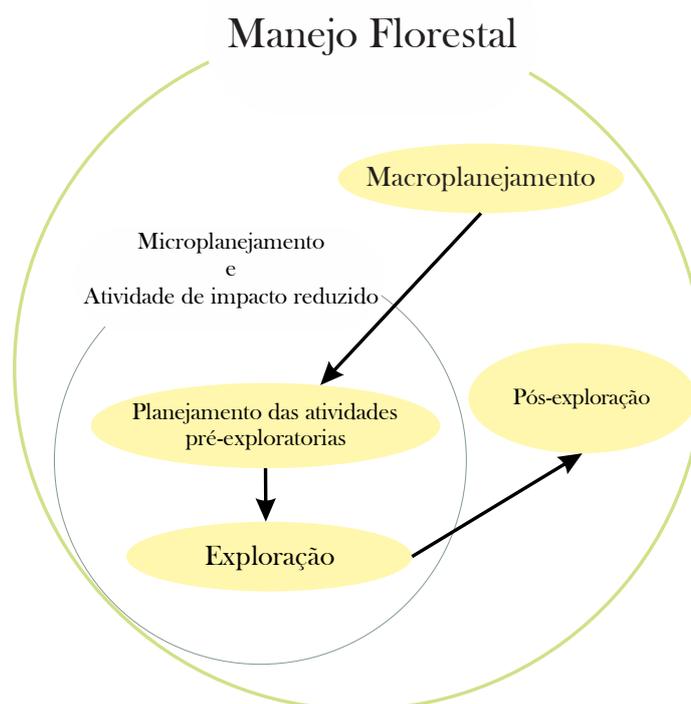
A importância do desenvolvimento de técnicas mais precisas de planejamento relata que ele é a peça chave para o manejo florestal, pois atua diretamente na geração de custos, na redução de impactos ambientais e conseqüentemente na viabilidade do projeto a curto e longo prazo (BRAZ, 2010).

2.2 Etapas do manejo florestal

O manejo florestal conceitua-se na administração da floresta de forma que a mesma continue crescendo, caracterizando-se como um recurso renovável. Como visto, o ponto de partida é a elaboração do Plano de Manejo Florestal Sustentável. Este plano visa estabelecer todos os procedimentos técnicos e administrativos da exploração, bem como medidas de mitigação de impactos ambientais gerados.

Balieiro et al. (2010) define quatro grandes etapas do Plano de Manejo Florestal: Macroplanejamento da exploração florestal; Planejamento das atividades pré-exploratórias; Exploração dos recursos florestais e Atividades pós-exploratórias (Figura 1).

Figura 1 – Etapas da exploração florestal.



Fonte: adaptado de Balieiro et al. (2013)

O Manejo Florestal Sustentável, como já citado, pode ser dividido em etapas para melhor entendimento do processo (Tabela 1). Comumente as atividades são divididas em: atividades pré-exploratórias, atividades de exploração e atividades pós-exploratórias (FUNDAÇÃO FLORESTA TROPICAL, 2002).

Tabela 1 – Atividades do Manejo florestal Sustentável

Atividades	Procedimentos
Atividades 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; Planejamento e construção da infraestrutura.
Atividades exploratórias	Localização e sinalização das árvores exploráveis; Abate; Sinalização das trilhas de arraste toras; Arraste das toras Operação de pátio; Operações de transporte.
Atividades pós-exploratórias	Tratamento silviculturais; Inventário contínuo; Avaliação de danos; Avaliação de desperdício; Proteção florestal; Manutenção da infraestrutura.

Fonte: Adaptado de Fundação Floresta Tropical (2002).

Para a execução do manejo florestal é necessária a regularização da área perante os órgãos governamentais responsáveis. A determinação da área de manejo baseia no levantamento do potencial econômico de acordo com a tipologia da floresta e de informações de florestas próximas.

Com o auxílio de mapas, é possível a identificação das áreas florestais na propriedade e dimensionamento da área de manejo florestal. Após esta etapa, a equipe de campo coleta informações da floresta, por meio de um inventário piloto, que dará suporte na tomada de decisão a respeito da viabilidade econômica do projeto, para posteriormente ser realizado o inventário censitário das espécies comerciais a partir de um diâmetro mínimo.

Durante o inventário censitário, a atividade de corte de cipós é executada visando diminuir riscos de acidente em campo e impactos ambientais à floresta remanescente durante a atividade de abate. A instalação das parcelas permanentes, também ocorre durante o censo.

Com os dados do inventário censitário é possível realizar o planejamento da exploração, dimensionando equipe de campo, intensidade de corte, técnicas de

exploração, medidas que devem ser tomadas para promover o manejo de impacto reduzido, dentre outros pontos.

A atividade exploratória consiste na execução do planejamento em campo, a exploração ocorre de forma lógica, com a instalação de acampamento, abertura de estradas, abertura de ramais e pátios de estocagem, em seguida ocorre a localização e abate das árvores selecionadas, posteriormente é realizado a demarcação da abertura das trilhas de arraste e arraste das toras para o pátio, onde ocorrerão as operações de carregamento para o transporte da madeira.

Após o término da exploração são executadas as atividades pós exploratórias, que consistem no monitoramento da área de manejo florestal visando a manutenção da infraestrutura, do ecossistema e proteção florestal.

2.3 Pesquisa operacional

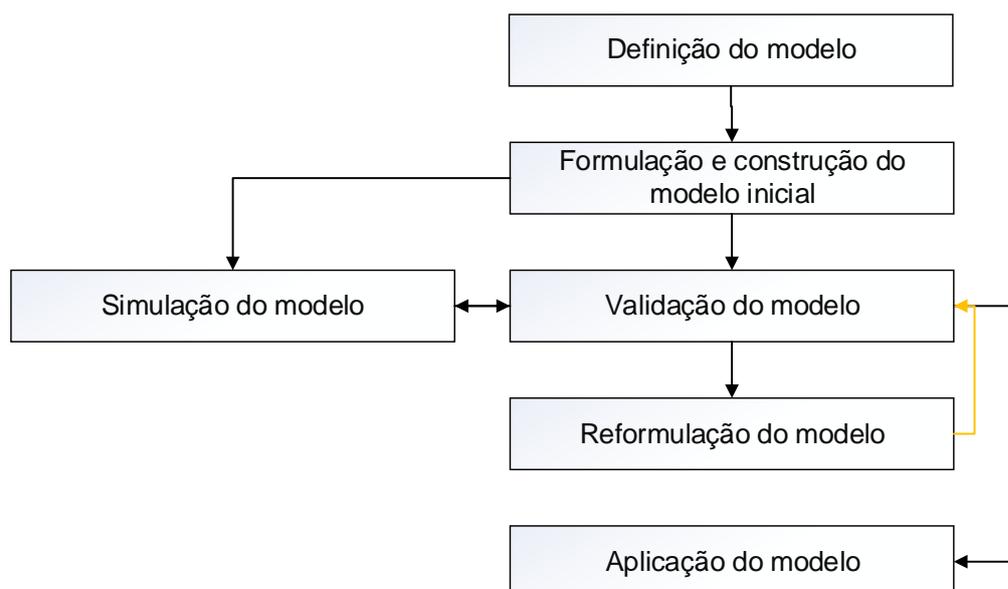
A utilização das ferramentas de pesquisa operacional, no provimento de eficácia e eficiência em vários níveis de gestão torna-se uma realidade viável, pelo avanço das tecnologias de informação. É fato, que a relevância do campo de pesquisa operacional tem aumentado de acordo com o desenvolvimento de novas tecnologias, as quais viabilizam informação para a solução de problemas (GOLDBARG; LUNA, 2000; HILLIER; LIEBERMAN, 2010).

A cada momento, torna-se primordial o domínio básico dessa ferramenta pelos profissionais que trabalham diretamente com gestão de recursos, sendo ponto chave para a tomada de decisões de qualquer nível organizacional, independente do seguimento de mercado. Desse modo, o estudo da ciência de pesquisa operacional não se torna importante apenas para pesquisas em relação à gestão de recursos, mas também para indivíduos que eventualmente terão a responsabilidade de gerir operações de qualquer natureza (DYKSTRA, 1984).

A pesquisa operacional trata diretamente da formulação de modelos, que visam solucionar problemas da vida real, por meio da modelagem matemática do problema, sendo que sua construção é a parte mais importante do processo (MARINS, 2011).

Goldbarg; Luna (2000) relata que um problema pode ser traduzido em: objetivo, variáveis de decisão ou controle e nível de detalhamento. A formulação desse problema deve contar com: intuição, experiência, criatividade e outros fatores que se façam relevantes. Tendo em vista estes conceitos, a formulação de um modelo pode seguir o roteiro básico apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Processo de construção de modelos.



Fonte: Adaptado de Goldbarg; Luna (2000).

Para Marins (2011) a definição do modelo surge de uma necessidade, porém, ainda, aberta e sem definição clara da estrutura de solução, sendo necessária a capacidade de associação e sistematização para posteriormente formular a estrutura do modelo. Na fase de formulação e construção do modelo é exigido um elevado domínio das técnicas e conhecimento do problema. Posteriormente, ocorre a fase de validação e avaliação do modelo, identificando os entraves da estrutura proposta. Por fim, na última etapa ocorre a aplicação e análise do modelo formulado.

A pesquisa operacional é baseada em estruturas de caráter lógico e apoiada em ferramentas matemáticas, visando basicamente determinar a melhor condição de funcionamento do sistema declarado. Os principais modelos de que constitui a pesquisa operacional de caráter quantitativo são advindos da programação matemática, que tem uma gama de técnicas, estabelecidas, pelo fato da grande utilidade em problemas de otimização, como também devido à pouca variação no

processo de modelagem matemática, podendo ser agrupadas em três subáreas: Programação Linear, Programação Não-linear e Programação Inteira (GOLDBARG; LUNA, 2000).

Essas técnicas de programação matemática estão presentes em áreas diversas, as quais buscam a otimização de processos. O surgimento da pesquisa operacional foi impulsionado, logo após a revolução industrial, quando por motivo da escala de produção industrial, foi necessário realizar gerenciamentos da produção e organização das atividades em grande escala (MARINS, 2011; PINHEIRO, 2011). A utilização de pesquisa operacional em planejamentos na segunda guerra mundial proporcionou grande desenvolvimento de modelos como: problemas de alocação, dieta e de recursos (MARINS, 2011). No Brasil, a introdução da pesquisa operacional se desenvolveu após os países da Grã-Bretanha e Estados Unidos, sendo direcionadas para a área de economia (LÓSS, 1981).

Marins(2011) relata que o rápido crescimento da ciência da computação foi primordial para o crescimento da pesquisa operacional, que aconteceu no pós-guerra, visto que houve o desenvolvimento de técnicas específicas, que otimizaram a resolução dos problemas por meio computacional, ou seja, desenvolvimento de máquinas para efetuar cálculos mais rápidos.

No setor florestal, a pesquisa operacional é amplamente aplicada utilizando o método de programação matemática, sendo comumente utilizada a: Programação Linear, Programação Inteira, Programação Não-Linear, Programação Dinâmica e Programação por Metas (LEITE, 1994). Para problemas de grande porte Silva et. al.(2003) relata que existem técnicas de solução como as metaheurísticas, que podem solucionar com melhor eficiência esses problemas.

Taha (2008) afirma que várias são as maneiras para resolução de modelos matemáticos, sendo o tipo de complexibilidade que determina a metodologia empregada na resolução.

2.4 O modelo das p - medianas

O estudo da distribuição espacial tem como finalidade embasar tomadas de decisões. Desde o início dos tempos o homem teve estreita relação com o espaço na medida que avançava a exploração de novos lugares tendo em vista o planejamento e a otimização de recursos.

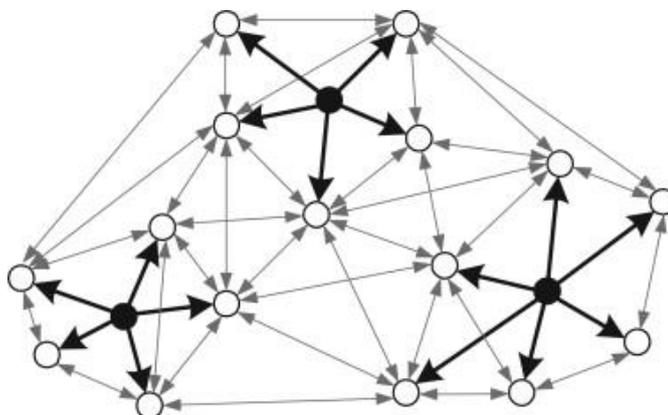
Diante dessa relação, muitos estudos foram desenvolvidos, dentre os quais o estudo de localização-alocação que tem sido amplamente pesquisado pela sua aplicabilidade na solução de problemas do mundo real.

Modelos de locação-alocação estudam basicamente a abertura de instalações (lojas, armazéns, escolas, posto policial e dentre outros) que visam atender a determinados pontos (residências, bairros, clientes, regiões dentre outros), de modo a definir o local de abertura da instalação e quais pontos serão atendidos pela mesma.

Esses estudos proporcionaram o desenvolvimento do problema de localização, tendo uma relevância considerável pela sua vasta possibilidade de aplicação, possuindo inúmeras variações, objetivando explorar sua capacidade e aplicabilidade (LEE; YANG, 2009). Desse modo, são formulados desde modelos simples, que partem de um número pequeno de variáveis e número reduzido de instalações a serem abertas, até problemas mais complexos, com um número elevado de variáveis e um conjunto robusto de restrições, necessitando de abertura de inúmeras instalações, refletindo no aumentando exponencial do número de combinações possíveis e tempo de processamento da solução (NOVAES, 2004).

Mapa (2007); Church (2008) e Brimberg; Drezner (2013); relatam que o problema de p -medianas é um dos modelos mais empregado na análise de localização sendo amplamente explorado em diversas áreas. O modelo basicamente permite designar qual instalação deve ser aberta, de modo a minimizar o custo de um processo, geralmente o custo de deslocamento (Figura 3).

Figura 3 - Esquemática da solução do modelo de p -mediana



Fonte: Avella et al. (2012).

Sampaio (1999); Mladenović et al. (2007) afirmam que os problemas de localização podem ser divididos em dois tipos: o primeiro referente à localização de centros e o segundo a localização de medianas, sendo que o primeiro consiste em determinar centros que por sua vez são regidos por uma distância crítica em que a instalação poderá atender aos pontos de demanda. Já o problema das medianas visa minimizar a distância média, ou seja, minimizar a soma de todas as distâncias entre uma instalação e pontos de demanda, por exemplo (ROSA, 2011).

As p -medianas ainda podem ser classificadas em problemas do tipo “capacitado” ou “não capacitado”. No modelo não capacitado escolhe-se dentre os possíveis locais de abertura uma quantidade n de medianas que atenderá a um número x de clientes, minimizando a soma da distância euclidiana da instalação em relação aos clientes, onde as instalações não possuem limitação de capacidade (AMORIM, 2011).

Já no modelo capacitado cada instalação passa a ter um valor y de capacidade, em que a soma das demandas de todos os clientes atendidos pela mesma, não pode ultrapassar a capacidade do limite de atendimento. Essa capacidade pode ser tida como volume, número de pessoas, peso, dentre outras (LORENA; FURTADO, 2001).

Logo, o modelo p -mediana permite determinar em um grafo, composto por vários pontos, quais as instalações p que deverão ser abertas para atender a n clientes, podendo ser capacitado ou não em relação à quantidade demandada, sendo assim, o objetivo em foco é minimizar o custo total, por meio da menor

distância de ligação instalação-cliente, e determinar quantas instalações deverão ser abertas, para que cada cliente seja atendido, otimizando a um determinado critério (DASKIN, 1995, BOWERSOX; CLOSS, 2001; ARAKAKI, 2003; FINKE, 2008; AMORIM, 2011; COLIN, 2011; MARTINHAGO, 2012).

A determinação da localização da instalação na maioria das vezes está ligada a fatores econômicos, podendo ser influenciada não somente pela distância, mas pela capacidade de abrangência em uma determinada região, gerando um potencial de receita que não está diretamente ligada ao custo de distância (BALLOU, 2006).

Os problemas geralmente são ligados a *networks* que serão formadas por pontos (nós ou vértices) e linhas (arcos ou arestas) sendo facilmente assimilados a estradas em geral, conexões hidráulicas, linhas telefônicas, dentre outras (ARAKAKI, 2002).

Mladenović et al. (2007) complementa que a análise de localização abrange uma gama de modelos matemáticos e esses modelos de localização podem ser divididos em três grupos: *contínuos*, *discretos* e *modelos de rede*. Estes modelos também podem ser determinísticos ou estocásticos, linear ou não-linear, baseado em um ou em múltiplos critérios.

Segundo Arakaki (2003) a proposta inicial do modelo de p-mediana foi realizada por Seifollah Louis Hakimi em 1964, utilizando uma única mediana, que em seguida foi generalizada para múltiplas.

Garey; Johnson (1979) relatam que o problema das p-mediana é reconhecido como um problema de *NP-Hard*, ou seja, exige um grande esforço computacional para obter uma solução ótima para o problema por meio de algoritmos exatos.

Desse modo, boa parte das soluções para formulações com elevado número de dados, é baseada em métodos heurísticos (JACKSON; ROUSKAS; STALLMANN, 2007; MAPA, 2007; DOMÍNGUEZ; MUÑOZ, 2008; CARDOSO, 2009; COSTA, 2009; AMORIM, 2011; ALMEIDA; SENNE; YANASSE, 2012; ANDRADE; SANTORO, 2013). Para a obtenção da solução de problemas de localização as heurísticas de solução podem dividir-se em duas: heurísticas clássicas e metaheurísticas (MLADENOVIĆ et al., 2007).

Para Amorim (2011) apesar dos métodos heurísticos não garantirem uma solução exata, os mesmos têm a capacidade de gerar respostas próximas, porém com um grande diferencial que é o tempo de processamento. Outras técnicas importantes são as chamadas metaheurísticas, que basicamente, são heurísticas providas de mecanismos, os quais buscam que solução não fique restrita a um ótimo local.

Mladenović et al. (2007) realiza uma abordagem a respeito de avanços quando se busca resolver o problema por meio de procedimentos com base em regras de metaheurísticas.

O autor, ainda, mostra que heurísticas clássicas para o problema das p-medianas, frequentemente citadas na literatura, podem ser divididas em três grupos: Construtivas – Greedy, Stingy, dupla subida e Composite; Busca local – que precisam de uma solução inicial viável tem-se Alternate e Interchange e os baseados em programação matemática – Programação dinâmica, relaxamento de Lagrange e agregação heurística.

Mladenović et al. (2007) cita também alguns modelos de metaheurísticas desenvolvidos para solução de problemas de localização:

Busca Tabu, Busca na Vizinhança Variável, a Pesquisa Genética, busca Scatter, Recozimento Simulado, Concentração Heurística, otimização colônia, Redes Neurais, heurística de decomposição e heurísticas híbridas (MLADENOVÍĆ et al., 2007, p. 7).

Mareth; Pizzolato (2014) concluíram em seu estudo, a identificação dos métodos/algoritmos aplicados na determinação da solução de problemas de localização, em uma amostra de 89 artigos, neste estudo os métodos mais utilizados foram: o algoritmo genético (AG), a metaheurística Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (GRASP) e o *branch-and-bound*.

Dentre as possibilidades de resolução dos problemas de p-medianas, tendo as metaheurísticas como ferramentas que buscam contornar o problema da solução “cair” em um mínimo ou máximo local, destacam-se as *Redes Neurais Artificiais*, *Simulated Annealing*, *Busca Tabu*, *Computação Evolutiva*, (incluindo nesta os Algoritmos Genéticos, Programação Genética e a Programação Evolutiva) e ainda *Algoritmos Híbridos* (ROSA, 2011).

2.4.1 Formulações do modelo das *p*-medianas

O problema de *p*-medianas é comumente formulado como um problema de programação inteira. Pirkul; Gupta; Rolland (1999) relatam que o problema da *p*-mediana capacitado é dado da seguinte forma:

Um grafo $G = (V, E)$, $V_1 \subset V$, onde V_1 é o conjunto de locais de instalação potenciais com capacidade C , V é o conjunto de nós de demanda com um vetor de demanda 1 , tem-se a necessidade de encontrar um conjunto de nós S ($S \subseteq V_1$), de cardinalidade P , como a soma ponderada de atribuir a nós V ao conjunto S é minimizado enquanto toda a demanda é atendida sem capacidade de violar restrições (PIRKUL; GUPTA; ROLLAND, 1999, p. 211)

Já o problema não capacitado segue a mesma lógica diferenciando-se apenas pela não restrição de capacidade, ou seja, sem limites restritivos de que cada instalação possa atender ao maior número possível de clientes.

O problema das *p*-medianas, como citado anteriormente, geralmente é apresentado como um problema de programação inteira. Quando se tem a necessidade de instalar um número x de instalações para atender a um número n de clientes.

Muitos trabalhos descrevem a formulação do problema das *p*-medianas a exemplo dos trabalhos de Rolland; Schilling; Current (1996), Mapa; Lima (2007), Mapa (2007), Stefanello; Müller; Araújo (2009a), Stefanello; Muller; Araújo (2009b), Pontin; Garcia; Bandeira Neto (2010), Rosa (2011), Morais (2011), Martinhago (2012), Isler; Bonassa; Cunha (2012) e Park; Lee; Han (2014).

O problema das *p*-medianas pode ser descrito da seguinte forma:

a. Índices

i, j : locais (clientes e instalações).

b. Parâmetros

d_{ij} : distância euclidiana, custo de deslocamento ou qualquer outra variável de interesse que liga o local i para o local j ;

p : número total de instalações a serem abertas de acordo com critério específico.

c. Variável de decisão

x_{ij} : variável binária (0 ou 1) que assume o valor 1 caso o cliente i esteja ligado a instalação j , caso não assuma essa condição o valor é zero.

Y_j : garante que a variável Y é uma variável binária, só podendo assumir o valor 0 ou 1, determinado as instalações que serão abertas.

d. Função objetiva

$$\text{Minimizar: } \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n d_{ij} x_{ij} \quad (\text{equação 1})$$

Tem a função de minimizar o somatório das distâncias euclidianas entre cada instalação e todos os clientes ligados a ela.

e. Restrições

$$\sum_{j=0}^n x_{ij} = 1 \quad \forall_j \quad (\text{equação 2})$$

Restrição de ligação única, garantindo que cada cliente será atendido por apenas uma instalação;

$$\sum_{j=0}^n Y_j = P \quad \forall_j \quad (\text{equação 3})$$

Tem a função de estabelecer que o número de instalação p seja respeitada;

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

Garante que cada cliente seja ligado apenas a instalação aberta.

Uma variação do problema das p -medianas é apresentada com uma restrição a mais de capacidade limite de cada instalação, no modelo original minimiza-se as

distâncias, alocando vários clientes a uma instalação, assumindo que a mesma tenha capacidade ilimitada, sendo que q_i : demanda de cada cliente i e Q_j : capacidade de cada instalação j . Com a formulação da restrição da seguinte forma:

$$\sum_{i=0}^n q_i x_{ij} \leq Q_j Y_j \quad \forall_j \quad (\text{equação 5})$$

Restrição de capacidade máxima da instalação j em atender cada cliente i .

Dessa forma, o problema de p-mediana capacitado apresenta cada cliente com uma determinada demanda q que será atendida por uma determinada instalação j com capacidade Q de absorver a demanda dos clientes, a distância total dentro de cada grupo formado por uma instalação continua a ser minimizada, porém respeitando agora a restrição de capacidade (ARAKAKI, 2002).

Outra restrição importante, empregada por Martinhago (2012) foi a incorporação da restrição de distância, ou seja, uma limitação de distância máxima de cada instalação a cada cliente.

$$d_{ij} x_{ij} \leq \text{Distância Máxima} \quad \forall_i, \forall_j \quad (\text{equação 6})$$

A restrição de distância tem a função de limitar a distância máxima de ligação instalação-cliente.

Essa restrição facilita planejamentos para que a distância máxima percorrida possa ser um fator limitante para a modelagem. De forma análoga, pode se admitir não somente o parâmetro distância, mas também outros parâmetros como, por exemplo, o tempo entre as ligações e o custo máximo de ligação. Dessa maneira, o modelo possibilita a formação de *clusters* com capacidade e distância máxima definidas.

2.5 Aplicação do modelo *dap* – *mediana*

A aplicação do modelo das p-medianas ao longo dos anos, foi amplamente estudado resultando na sua aplicação nas mais diversas áreas.

A aplicação deste modelo em problemas de roteamento é estudada por vários pesquisadores. Dentre os estudos encontra-se o de Mapa (2007) que estudou a qualidade das soluções para o problema de localização-alocação de instalações geradas pelo SIG TransCAD, utilizando duas rotinas (localização de instalações e problema de transporte). Já Cardoso (2009) aplicou o modelo de p-mediana para definir grupos e após a formação dos mesmos utilizou uma modelagem individual de roteamento de veículos para atender a demanda de uma determinada empresa. Rosa (2011) estudou a distribuição de colégios atendidos pelas viaturas do Batalhão de Patrulha Escolar Comunitária, utilizando o problema para propor o reagrupamento dos setores de forma a ficar distribuída uniformemente a quantidade de colégios por viatura. Desse modo, nota-se a utilização do modelo na tomada de decisão na formação de *cluster* para posterior roteamento dos elementos que os compõem.

A teoria dos grafos na qual se baseia o problema de p-medianas, busca determinar pontos no espaço de solução que minimize a distância entre o ponto de referência e os pontos de demanda. Nessa concepção, CAMPBELL (1994) utilizou o modelo para determinar a localização de Hubs, que servem de transbordo e de comutação para os sistemas de transportes e telecomunicações com múltiplas origens e destinos. Já Eberlan (2004) estudou a localização de sítios de alerta, nos Estados Unidos, após o ataque de 11 de setembro, o modelo considera o número mínimo de sítios de alerta, a distância mínima de rede agregado e a distância máxima minimizada dada uma gama de tempos de lançamento de aeronaves e velocidades. Abordando o posicionamento de antenas Arroyo; Marques (2006) estudaram o posicionamento de antenas de telecomunicações em pontos específicos de uma região, objetivando cobrir a maior quantidade de pontos de demanda usando um número mínimo de antenas. Outra abordagem interessante foi a de Oliveira et al.(2013) que utilizou o modelo para realizar a localização de seções eleitorais e alocação de eleitores, no qual se teve a necessidade de disponibilizar

locais para os eleitores votarem e capacidade de cada local em recebê-los, minimizando a menor distância e formando clusters.

Na área de planejamento florestal alguns estudos foram desenvolvidos, como o de Martinhago (2012) que utilizou o modelo de p-mediana não-capacitado e capacitado para determinar locação de pátios de estocagem em florestas inequiâneas. Já Henrique; Antônio; Júnior (2013) determinaram quais pátios deveriam ser abertos, após a simulação de quais indivíduos seriam abatidos, utilizando o quociente de De Liocourt (q) a partir de um diâmetro mínimo de corte e Isaac Júnior et al. (2014) utilizou a p-mediana para estudar a realocação de pátios em duas tipologias florestais na Amazônia com 900 indivíduos.

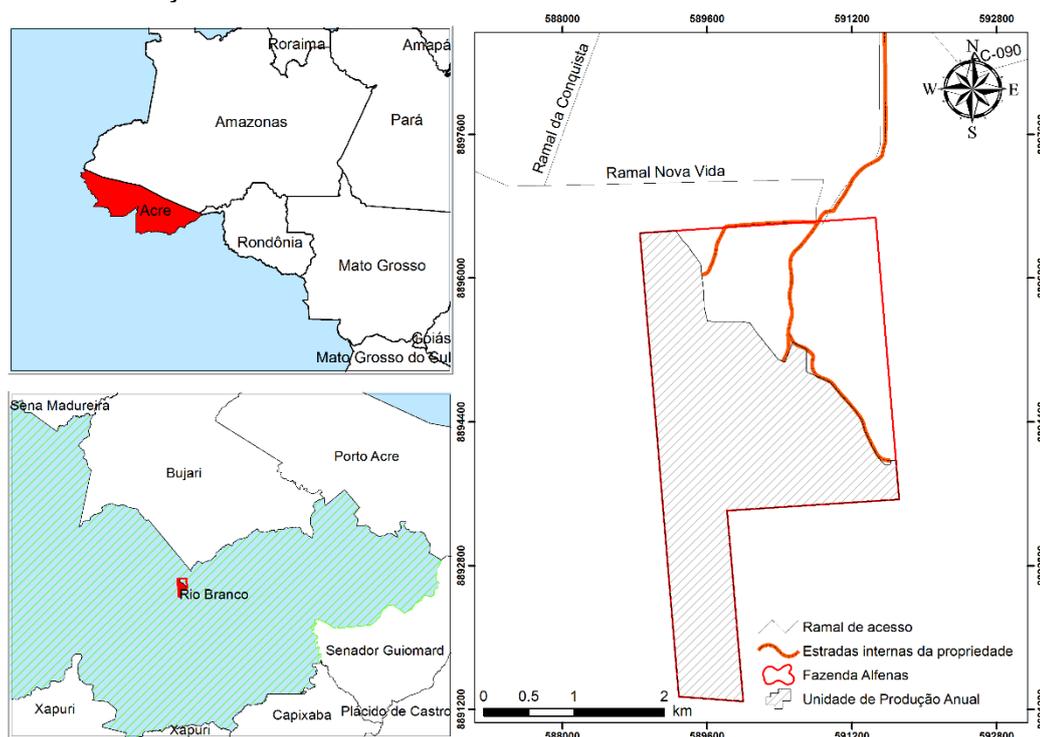
A aplicação do modelo de p-mediana possibilitou soluções otimizadas de problemas de diferentes seguimentos de produção e serviços. Desse modo, a pesquisa operacional, baseia-se na relação de objetivos a serem alcançados diante das restrições impostas para a solução viável. Outro ponto importante é a sensibilidade em reunir todas as variáveis relevantes que deverão ser modeladas para se chegar a uma solução ótima e real.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição da área de estudo

A área de estudo (Figura 4) está localizada no município de Rio Branco – Acre, sendo o acesso realizado pela estrada Transacreana, km 40.

Figura 4– Localização da área de estudo



Fonte – O Autor

Para a descrição do ambiente, foi utilizada fonte bibliográfica referente à base de dados shapefile do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e do georreferenciamento do local.

Em relação ao clima, a área da propriedade caracteriza-se pela elevada pluviosidade (1900 mm a 2000 mm). As temperaturas médias anuais variam de 22°C a 26°C com umidade relativa variando entre 85% a 90% (ACRE, 2000). De acordo com a classificação de Köppen, o clima é do tipo Am, com o subclima Af. O período de estiagem compreende os meses de junho a agosto, podendo a exploração florestal estender-se até o início de outubro quando se iniciam as primeiras chuvas (ACRE, 2000).

De acordo com os levantamentos pedológicos de Acre (2000) e IBGE (1994), os solos da propriedade são predominantemente argissolos estando presente: Argissolo Vermelho Distrófico Latossólico, Alissolo Crômico argilúvico típico.

A vegetação dominante na área de estudo é a Floresta Aberta com bambu, com pequenas faciações de Floresta Densa. A fisionomia arbórea ocorre com estrato superior de emergentes e a floresta aberta, onde é encontrada, apresenta grande espaçamento entre as árvores e um pequeno número de indivíduos por

hectare. Essa comunidade apresenta um volume médio de madeira de $150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (IBGE, 1994; ACRE, 2000).

As atividades econômicas desenvolvidas na área de estudo baseiam-se no manejo florestal e atividade agropecuária (Tabela 2)

Tabela 2– Caracterização das dimensões produtivas da área de estudo

Descrição da Área	Dimensão (ha)	Percentual
Área do Imóvel	997.6728	100%
Área de Reserva Legal Averbada	498.8364	50%
Área do manejo florestal	638.1783	63.97%
Área de atividade pecuária	359.4945	36.03%
Área de APP do manejo florestal pelo Microzoneamento	72.7663	7.38%

3.2 Plano de manejo e inventário censitário

O plano de manejo executado foi elaborado de acordo com a Norma de Execução do IBAMA n.º 1, de 24 abril de 2007 (BRASIL, 2007), pela Instrução Normativa MMA n.º 5, de 11 de dezembro de 2006 (BRASIL, 2006) e pela resolução do CONAMA n.º 406, de 02 de fevereiro de 2009 (BRASIL, 2009), conforme trata o artigo 20 da Lei Federal 12.651, de 25 de maio de 2012, que vigora o novo código florestal (BRASIL, 2012), levando em consideração a metodologia do MODEFLORA.

No presente plano de manejo florestal foram inventariados 2.590 indivíduos passíveis de corte (corte mínimo $\geq 50 \text{ cm}$ de diâmetro a altura do peito) correspondendo a um volume total de $14.867,1361 \text{ m}^3$ e distribuição média de $23,2962 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

Para a exploração foram selecionados 1.478 indivíduos que atendem aos critérios da legislação, totalizando um volume total estimado de $10.713,7475 \text{ m}^3$ com intensidade de corte de $16,7879 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

3.3 Metodologia para definição de áreas aptas a alocação de pátios de estocagem

3.3.1 Análise dos dados geográficos

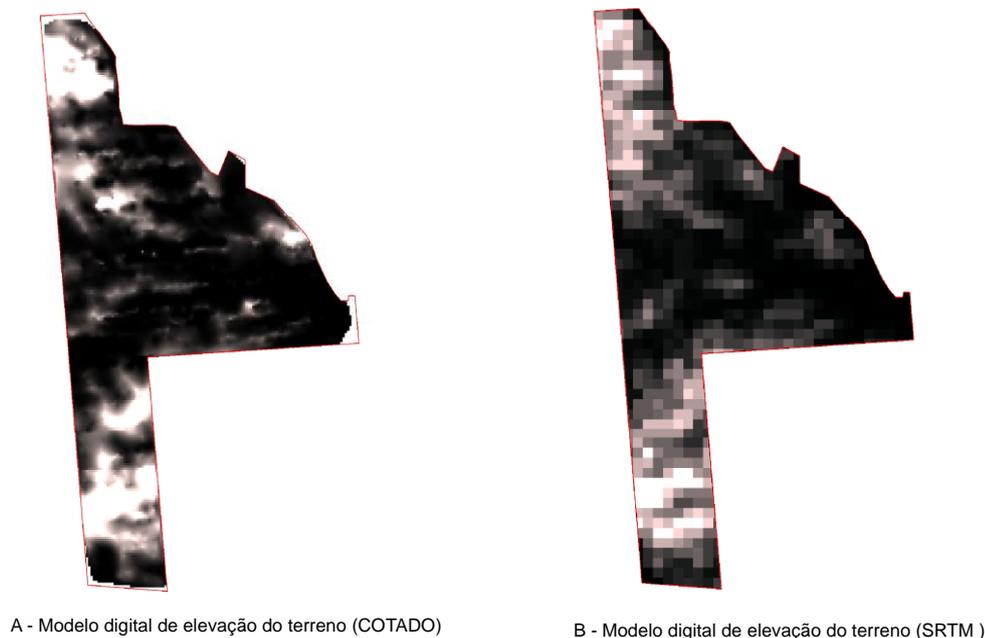
A análise dos dados geográficos consiste em estabelecer por meio de fatores relevantes da área de estudo, os locais aptos a instalação de pátios de estocagem. No presente trabalho levou-se em consideração o modelo de elevação digital, área de preservação permanente, zonas restritivas e árvores remanescentes. Utilizou-se o software ArcGis 10.2[®] na realização do processamento dos dados geográficos.

3.3.1.1 Obtenção das áreas aptas referentes à declividade

Para obtenção da declividade na área de estudo e, conseqüentemente, localizar locais restritos a alocação de pátios, foi utilizado um modelo de elevação digital, obtido por meio do inventário florestal com aproximadamente 3.000 pontos barométricos, visando realizar um melhor detalhamento da área, sendo utilizado o método de interpolação *Natural Neighbors* para a construção do modelo de elevação digital a partir dos pontos amostrados (Figura 5). Para averiguar a variação dos valores, o mesmo foi comparado com a imagem *Raster* do *Shuttle Radar Topography Mission*.

A imagem *raster* criada, representa com qualidade a área do estudo quando comparada com o *Raster* do *Shuttle Radar Topography Mission*. O modelo de elevação digital por meio das altitudes cotadas com barômetro oscilou entre 152,74 a 213,06 metros (nível do mar) e as cotas modeladas pelo *Shuttle Radar Topography Mission* ficaram entre 177 a 214,33 metros. Desse modo, empregou-se o modelo de elevação digital criado a partir das informações do inventário visando uma melhor precisão.

Figura 5– Modelo de elevação Digital



Para identificação das possíveis áreas de alocação de pátios, após a obtenção do modelo de elevação, seguiram-se os seguintes passos: criação do modelo de declividade e, posteriormente, reclassificação do modelo de declividade.

A declividade está diretamente ligada à construção de estradas e trilhas de arraste pelo fato de ser um fator limitante para o tráfego de máquinas (FIGUEIREDO; BRAZ; OLIVEIRA, 2007). Por esse motivo, o pátio deve ser localizado em lugares planos e com boa drenagem, pois as atividades de pátio incluem a movimentação de máquinas.

A partir do modelo de elevação digital, foi realizada a classificação do relevo pelos critérios da EMBRAPA (1979) (Tabela 3). O limite máximo de declividade foi estabelecido de acordo com Martinhago (2012), onde áreas com declividade maior que 15% são áreas consideradas restritas para alocação de pátios de estocagem.

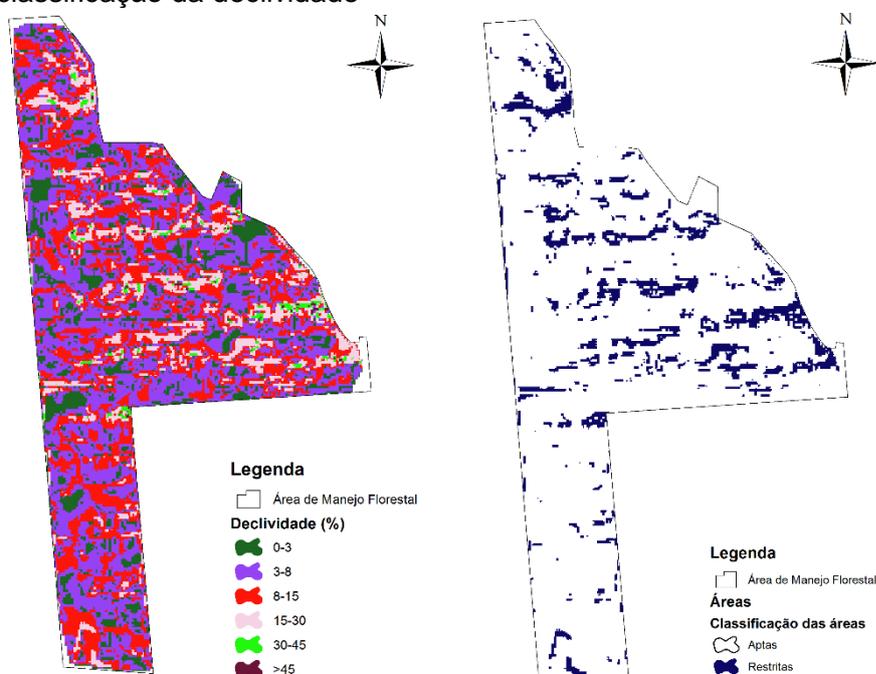
Tabela 3– Classificação das classes de relevo

Classe de declividade (%)	Categoria de Relevo
0— 3	Plano
3— 8	Suavemente Ondulado
8— 20	Ondulado
20— 45	Fortemente Ondulado
45— 75	Montanhoso
≥75	Fortemente Montanhoso

Fonte. Embrapa (1979).

Desse modo, realizaram-se duas reclassificações: a primeira com 6 grupos de declividade e a segunda com 2 grupos com valores 1 para áreas aptas e 10 para áreas restritas. (Figura 6).

Figura 6– Reclassificação da declividade



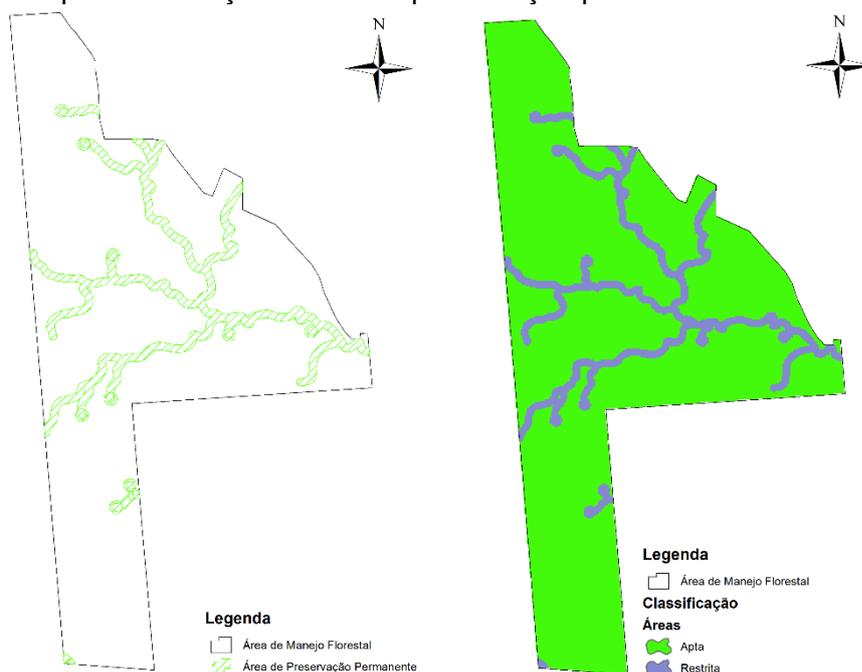
Fonte: O autor.

3.3.1.2 Obtenção das áreas aptas referentes a áreas de preservação permanentes

A definição das áreas de preservação permanente é um ponto crucial no manejo florestal de florestas inequiduais. Não é permitido realizar abertura de pátios dentro de áreas de preservação permanente.

Para obtenção das áreas aptas de alocação, fez-se a união da feição de áreas de preservação permanente com a área de manejo florestal e em seguida a mesma foi transformada para uma imagem *raster* e realizada uma reclassificação com os valores 1 para áreas fora da área de preservação permanente e 10 para áreas de dentro. (Figura 7).

Figura 7– Áreas aptas em relação à área de preservação permanente

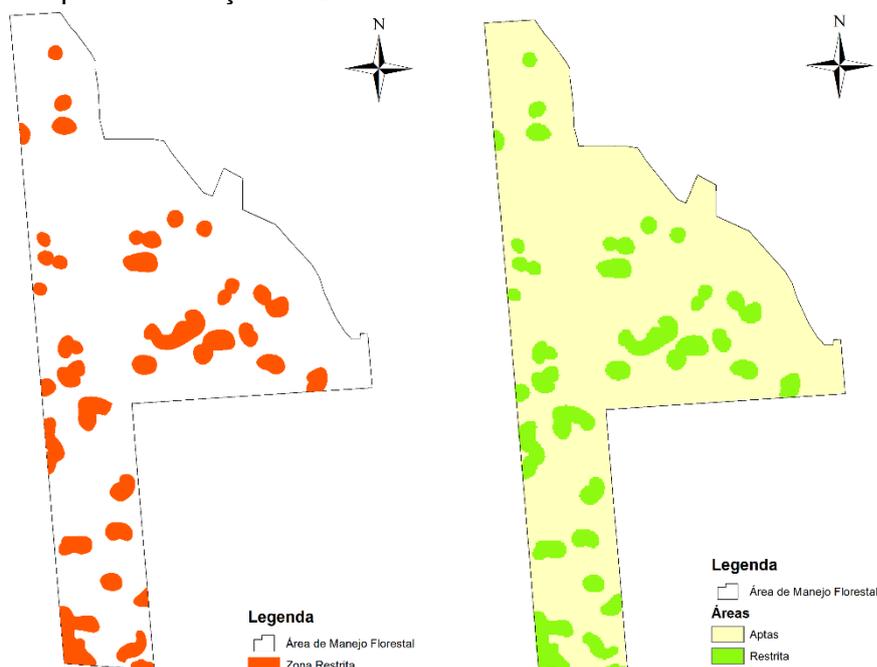


Fonte: O autor.

3.3.1.3 Obtenção de áreas aptas referente às zonas restritivas

O arquivo *shapfile* analisado com as zonas restritas foi obtido na base de dados do plano de manejo, essas áreas são classificadas de acordo com a proximidade das curvas de nível, que formam desníveis, os quais dificultam a construção de estradas, alocação de pátios e criação de trilhas de arraste. Diante do exposto, procedeu-se com a união da área de manejo florestal e zonas restritas, transformando-o para *raster*, sendo reclassificado com os valores 1 para áreas apta e 10 para áreas restritas. (Figura 8).

Figura 8– Áreas aptas em relação às zonas restritivas



Fonte: O autor.

3.3.1.4 Definição das áreas aptas referente às árvores remanescentes

Outro fator que deve ser levado em consideração é a estrutura florestal remanescente. Para determinação das áreas de abrangência de cada árvore, realizou-se um *Buffet* de 20 metros para cada indivíduo do banco de dados excluindo apenas os indivíduos selecionados para a exploração.

No arquivo base do projeto, também está contido o inventário de copa que foi unido às árvores remanescentes para criação do *Raster* de árvores remanescentes. O inventário de copa (Figura 9) consiste no aprimoramento do censo, tendo como finalidade enriquecer as informações de campo, em que são identificados indivíduos de grande porte que não serão explorados e não fazem parte das espécies comerciais (FIGUEIREDO; BRAZ; OLIVEIRA, 2007).

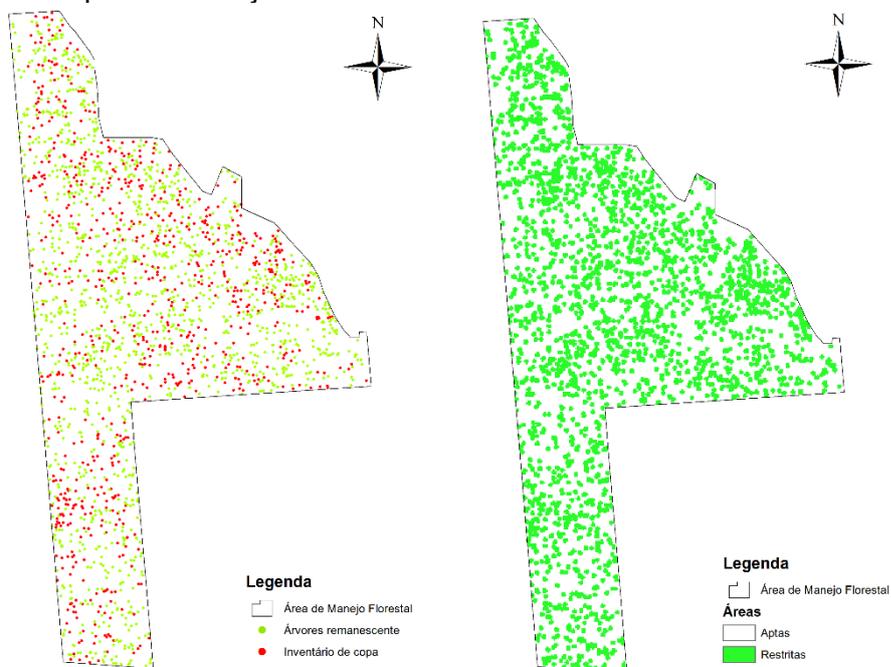
Figura 9– Identificação das árvores de grande porte



Fonte: Plano de manejo da propriedade.

Após a união do *Shapefile* da área de manejo e do *buffer* dos indivíduos remanescentes, foi criada uma imagem *raster* sendo esta reclassificada com os valores de 1 para áreas fora do *buffer* e 10 para áreas dentro, áreas aptas e áreas restritas, respectivamente (Figura 11).

Figura 10 – Áreas aptas em relação às árvores remanescentes.



3.4 Sobreposição ponderada das imagens *raster*

Ao realizar a sobreposição ponderada em seu trabalho Martinhago (2012), utilizou 20% para áreas de preservação permanente, 20% para áreas cipoálticas e restritas, 30% para árvores remanescentes e 30% para a inclinação do terreno, sendo a adoção dos pesos realizada de forma empírica.

Ter em vista uma determinação mais técnica dos locais aptos à alocação de pátios, a classificação final das áreas aptas foi realizada pelo método *Analytic Hierarchy Process*, proposto por Saaty (1980). O método consiste em uma ferramenta para tomada de decisão multicritérios. Por meio de uma escala numérica, calibra-se a amplitude de importância de critérios quantitativos e qualitativos.

Esta escala varia de 1/9 para “menos importante que”, 1 como “importância igual” e 9 para “absolutamente mais importante do que” cobrindo todo o espectro de comparação (SAATY, 1980¹apud VAIDYA; KUMAR, 2006).

Louzada; Santos; Silva (2010) relatam que para a escolha dos valores de entrada com base na matriz comparadora, deve-se levar em consideração o impacto ambiental, o levantamento bibliográfico e a consulta a uma equipe multidisciplinar (Tabela 4).

Tabela 4 – Valores da escala de comparadores do método Analytic Hierarchy Process

Intensidade de importância	Definição	Autores
1	Igual importância	Saaty (1977)
3	Fraca importância de um sobre o outro	
5	Importância essencial ou forte	
7	Demonstrou importância	
9	Importância absoluta	
2,4,6,8	Valores intermediários entre os dois julgamentos adjacentes	
1/9	Extremamente menos importante que	Rosot (2000)
1/7	Muito fortemente menos importante que	
1/5	Fortemente menos importante que	
1/3	Moderadamente menos importante que	

¹ Saaty, T.L. **The Analytic Hierarchy Process**, McGraw- Hill, 1980.

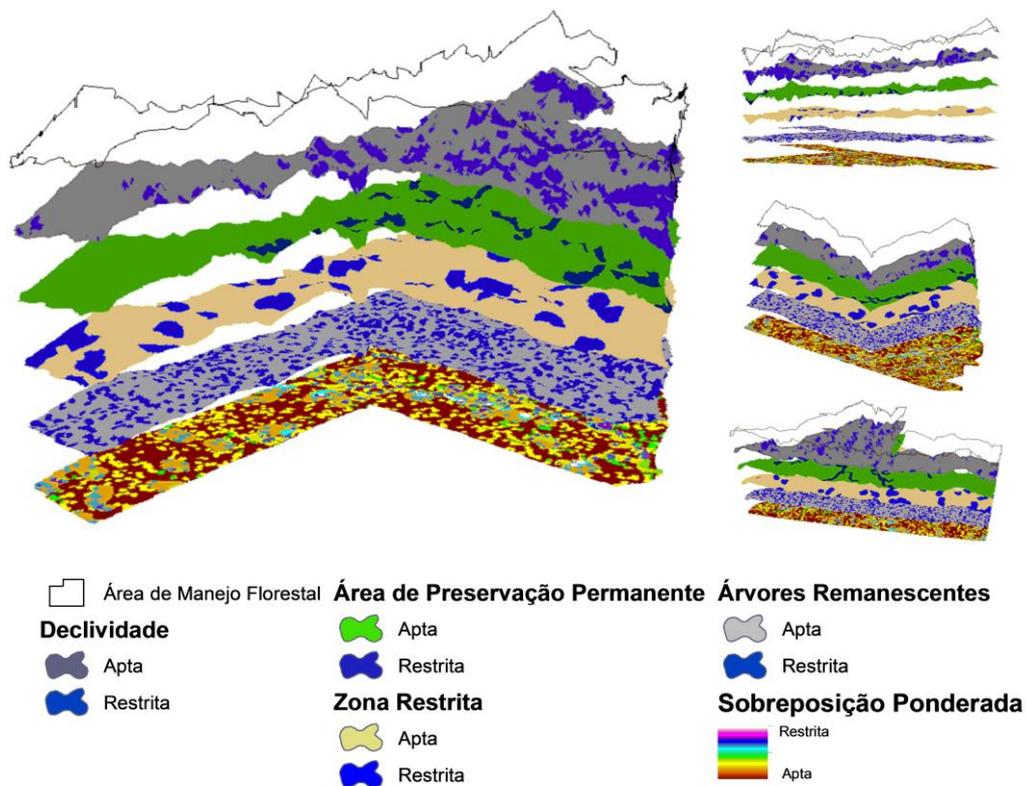
Para a realização do processamento das imagens foi utilizada a extensão do Arcgis® 10.2 chamada AHP, obtida no site da *ESRI Scripts*. A matriz de comparação pareada (Tabela 5) remete na escala a importância de cada elemento, cujo valor indicado para os itens da coluna indica a amplitude de importância em relação ao elemento da linha superior, analogicamente quando cruza a si próprio remete ao valor 1, por possuir mesma importância (LOUZADA; SANTOS; SILVA, 2010).

Tabela 5 – Matriz de comparação pareada do método Analytic Hierarchy Process

Fatores	Declividade	Zona Restritiva	Área de Preservação Permanente	Árvore Remanescente
Declividade	1	0.2	0.2	3.03
Zona Restritiva	5	1	1	5
Área de Preservação Permanente	5	1	1	5
Árvore Remanescente	0.33	0.2	0.2	1

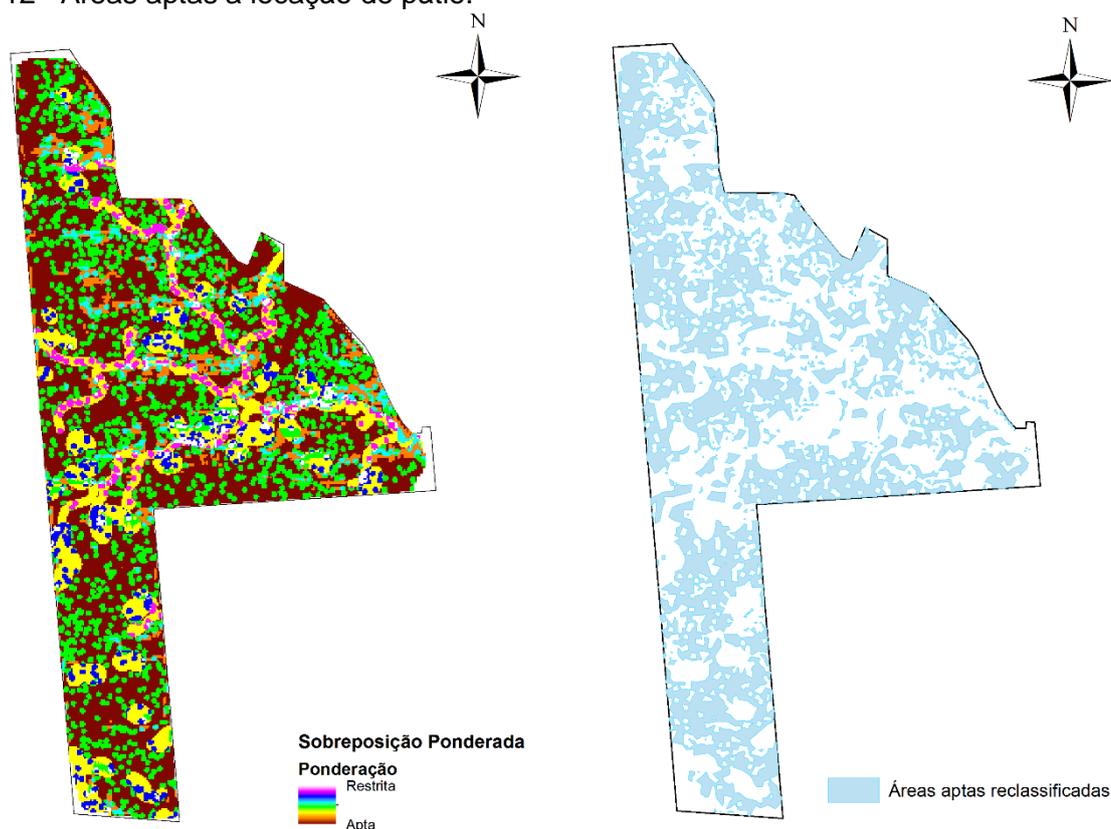
Os pesos obtidos para cada variável após o processamento do método *Analytic Hierarchy Process* foram: 0,1135 (Declividade), 0,4113 (Zona restrita), 0,4113 (Área de preservação permanente) e 0,064 (Árvores remanescentes), resultando na sobreposição ponderada das variáveis (Figura 11).

Figura 11 – Esquematização da sobreposição ponderada



Após a sobreposição ponderada foi realizada uma reclassificação, obtendo-se apenas as áreas aptas de locação de pátios (271ha) (Figura 12).

Figura 12– Áreas aptas a locação de pátio.



3.5 Criação da localização dos possíveis pátios

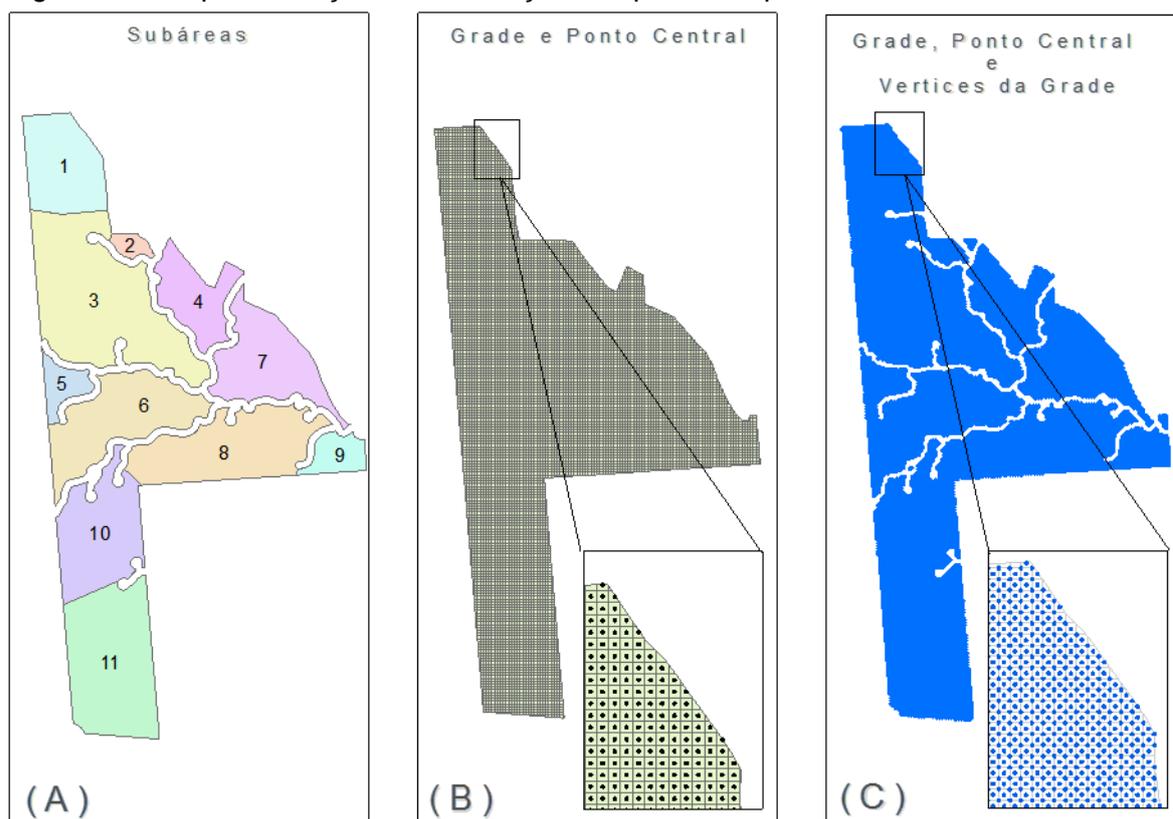
Para o processamento do planejamento de localização dos possíveis pátios de estocagem, foi necessário realizar a partição da área de manejo florestal, sendo orientada pela hidrografia levantada no inventário florestal, resultando em 11 áreas (Figura 13, A). O principal motivo para a criação de subáreas é evitar que árvores sejam alocadas em pátios cujo arraste necessite atravessar áreas de preservação permanente.

Para a criação da malha de pontos dos possíveis novos pátios, determinou-se a distância de 25x25 metros de acordo com (MARTINHAGO, 2012). A fim de melhorar o refinamento da localização dos pátios, a seguinte metodologia foi adotada:

1. Criação de uma grade regular de 25 x 25 metros (Figura 13, B);
2. Criação de um ponto central em cada grade regular (Figura 13, B);
3. Transformação dos vértices da grade para pontos (Figura 13, C).

Com esse procedimento foi possível potencializar os locais possíveis de alocação de pátios de estocagem de madeira, aumentando a possibilidade de 25 para 41 pontos de locação de pátio por hectare. Por fim, foi realizada a identificação dos possíveis pátios por subárea e árvores exploráveis para dar entrada no modelo.

Figura 13– Esquemática da localização dos possíveis pátios.



3.6 Modelos de otimização propostos

O modelo de otimização proposto tem como restrições o volume máximo por pátio de estocagem e a distância máxima de arraste. Para limitar o volume máximo por pátio determinou-se o valor de 700 m³. Para se chegar a este valor, considerou-se o dobro da capacidade de suporte de estocagem de 350 m³, valor que comumente é adotado em planos de manejo. Nos planejamentos de exploração, rotineiramente são alocados volumes superiores a 350 m³ por pátio de estocagem, mas dificilmente superiores ao dobro da capacidade, sendo assim, o limite máximo de 700 m³ enquadra-se dentro das reais condições de exploração de florestas nativas na Amazônia.

O valor máximo de volume por pátio norteia o número de pátios a serem alocados em cada subárea pela seguinte equação:

$$\text{Número de pátios} = \frac{\sum \text{volume das árvores área}^{-1}}{\text{Capacidade máxima do pátio}} \quad (\text{equação 7})$$

Em projetos florestais cujo planejamento de estradas consiste na distribuição sistemática, é possível realizar o cálculo de distância ótima de estradas, essa separação permite inferir a respeito das distâncias de arraste. O cálculo consiste em determinar um ponto médio entre os custos de arraste e de construção de estradas, que é auxiliado pelo cálculo de densidade de estradas (BRAZ, 2010).

O custo do equipamento de extração e de abertura de estradas são variáveis importantes para o cálculo, pois após estabelecer a distância de separação ótima, pode-se inferir que a distância máxima ótima de arraste, seja a metade da distância ótima de separação de estradas (FIGUEIREDO et al. 2007).

O cálculo da separação ótima de estradas pode ser feito utilizando a seguinte equação (FIGUEIREDO et al. 2007):

$$\text{S. O. E} = 2 \sqrt{\frac{10 C}{V \text{ tr}}} \quad (\text{equação 8})$$

Em que: S.O.E= Separação ótima de estradas; C= Custo de construção da estrada por km; V= Volume explorável por hectare; Tr= Custo do arraste por metro de picada (ida e volta) por metro cúbico transportado.

Para determinar a distância máxima de arraste de cada árvore ao pátio, é necessário obter o valor do Custo por metro de picada (ida e volta) por metro cúbico transportado (tr) que foi obtido pela seguinte equação:

$$\text{tr} = \frac{\left(\frac{\text{Hsk}}{\left(\frac{\text{RA}}{\text{VMT}} \right) (\text{DA} * 2)} \right)}{\left(\text{VMT} * \left(\frac{\text{RA}}{\text{VMT}} \right) \right)} \quad (\text{equação 9})$$

Em que: tr= Custo do arraste por metro de picada (ida e volta) por metro cúbico transportado (R\$ m³-¹); HSk = Valor da hora máquina Skidder (R\$. hora⁻¹); RA = Rendimento de arraste (m³hora⁻¹); VMT = Volume médio da tora (m³) e DA = Distância média de arraste (calculada ou esperada) (m).

Os valores das variáveis foram calculados da seguinte forma:

a) Custo de construção de estradas: o valor de aluguel do trator florestal custa em média no mercado local R\$ 300,00/hora. Utilizou-se o coeficiente técnico de rendimento de 0,3338 m/hora de abertura de estrada de acordo com Figueiredo; Lima(2008), obtendo-se o valor de R\$ 898,74 por km.

b) Volume Explorável por hectare: O volume total das árvores selecionadas aptas a exploração foi de 10.713,7370 m³, em uma área de 638,1783 hectares. O volume explorável foi de 16,78m³ha⁻¹.

c) Valor da hora máquina Skidder: o valor foi obtido por meio do valor médio pago no mercado local de R\$ 18,00 por metro cúbico arrastado multiplicando pelo rendimento médio de arraste, obtido por meio do monitoramento do Skidder que foi de 16,27 m³.h⁻¹. Logo, o custo da hora máquina estimado foi de R\$ 292,86 por hora.

d) Rendimento médio de arraste, volume médio da tora e distância média de arraste: o rendimento de arraste já mencionado foi de 16,27m³/h, o volume médio das toras consta no projeto de 2.2120m³ e a distância média de arraste foi obtida de acordo com Figueiredo; Lima (2008) obtendo-se o valor de 152,17 m.

Desse modo, a distância ótima da separação dos pátios é a metade da separação ótima de estradas, demonstrada na seguinte equação:

$$SOP = \frac{SOE}{2} \quad (\text{equação 10})$$

Em que: SOP= separação ótima de pátio e SOE= separação ótima de estrada.

Assim, foi possível calcular o valor da separação ótima de pátios, resultando no valor de 258m. Na modelagem proposta adicionou-se o relaxamento da distância em 33% a fim de proporcionar maior flexibilidade ao modelo e por representar uma variação aceitável em campo, sendo o valor final utilizado na modelagem de 343.20 metros, como distância máxima de arraste.

Por fim, foram propostos quatro cenários de aplicação do modelo sendo eles:

1. **Cenário 1:** Modelo com restrição de capacidade máxima (700m³) e distância máxima de arraste (343,20m);

2. **Cenário 2:** Modelo com restrição de capacidade máxima (700m³) e sem restrição de distância máxima de arraste;
3. **Cenário 3:** Modelo sem restrição de capacidade máxima e com restrição de distância máxima de arraste (343,20m); e
4. **Cenário 4:** Modelo sem restrição de capacidade máxima e sem restrição de distância máxima de arraste.

Os cenários propostos foram solucionados utilizando o Cplex®, tendo o objetivo de computar a seguinte configuração Intel Core™ i3-3217U - CPU 1.80 GHz, 8.0GB DDR3 1600 MHz. Na análise dos tempos de processamento utilizou-se os valores reais de execução calculados pelo sistema.

3.7 Comparação dos cenários com o planejamento executado

A análise foi realizada de duas formas: comparação pela distância euclidiana e pelo planejamento da exploração, sendo que todos os cálculos de distância e área foram realizados no Arcgis 10.2®.

No primeiro momento, a análise das distâncias foi realizada por meio do somatório das distâncias euclidianas, do ponto onde se encontra cada árvore explorável ao ponto central do respectivo pátio em que a mesma será alocada. Dessa forma, foi possível realizar uma comparação direta do planejamento executado no plano de manejo, com os cenários propostos por meio do modelo de otimização. A soma das distâncias euclidianas de cada árvore para cada pátio, demonstra a eficiência do posicionamento do mesmo, em relação às árvores que o compõem, supondo que cada árvore seria arrastada individualmente em linha reta para o seu respectivo pátio de estocagem.

Diante disso, tem-se a necessidade de analisar o real impacto da otimização da alocação de pátios utilizando os cenários propostos, que está baseado no planejamento das estradas florestais e trilhas de arraste. O planejamento ocorreu seguindo os mesmos critérios e metodologia do planejamento executado. Visando minimizar a construção de estradas, levaram-se em consideração as estradas existentes fora da área de manejo florestal, que deram suporte ao escoamento da

exploração, reduzindo a necessidade de abertura de novas estradas na área de manejo.

3.8 Avaliação dos cenários

Foi realizado o ranqueamento dos fatores analisados nos quatro cenários tanto para a análise realizada pela distância euclidiana quanto para o planejamento dos cenários. Para tal, realizou-se a enumeração de 1 a n , sendo 1 o que obteve o melhor desempenho e n o de pior. Ao final, a somatória dos diferentes parâmetros avaliados com menor pontuação, foi classificada como o melhor cenário.

3.9 Planejamento das estradas florestais e trilhas de arraste

A construção das estradas foi realizada de acordo com a legislação e metodologia do MODEFLORA, em que realizou-se a construção de modelos digitais de elevação do terreno feitos por imagens do radar SRTM e de cotadas barométrica adquiridas em campo, priorizando a construção em terrenos de cotas mais altas, evitando transpor áreas de preservação permanente.

Para o planejamento das trilhas de arraste também foi guiada pela legislação e recomendações do MODEFLORA, de acordo com Figueiredo; Braz; Oliveira (2007), sendo elas:

- Direcionamento do arraste deve ser guiado pelas características topográficas, obedecendo a um planejamento de trilhas na menor distância possível;
- Deve-se atentar para o não cruzamento da malha hidrográfica;
- As trilhas devem ser planejadas as mais retas possíveis, em caso de terrenos não estáveis e terrenos inclinados, deve-se planejar o contorno e um caminho diagonal, respectivamente;
- Evitar o arraste de mais de 15 indivíduos por trilha de arraste;

- Prevenir entroncamento de trilhas de arraste com ângulo superior a 45°.

3.10 Estimativa de impactos ambientais na abertura de estradas e trilhas de arraste

Para realizar as estimativas de impacto ambiental foi utilizado o valor médio de 5 metros da largura para a construção da estrada florestal e de 4 metros para trilhas de arraste. A estimativa de impacto ambiental proveniente dos pátios de estocagem de madeira foi a sua própria área de construção. Para tal, foi realizado a estimativa do impacto ambiental por meio do ArcGis 10.2[®] utilizando a ferramenta *buffer*, posteriormente foi calculada a área em hectares do impacto ambiental gerado pela atividade de abertura de estradas e trilhas de arraste.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise da alocação dos pátios de estocagem pela distância euclidiana

Na metodologia utilizada para avaliar a melhor alternativa dentre as variáveis analisadas dos quatro cenários, o cenário 1 apresentou-se com a melhor configuração, seguido do cenário 3, 4 e 2. Quando analisado pela média, a comparação do planejamento executado com o otimizado obteve reduções na soma das distâncias (-8,97%), na média das distâncias máximas (-12,46%), nas médias das distâncias (-9,78%) e no coeficiente de variação (-5,33%).

O cenário 1 (tabela 6), apresentou-se como o melhor cenário na análise do modelo pela distância euclidiana, em relação ao planejamento executado, obteve-se reduções de 16,81%, 21,13%, 16,36% e 7,29%, respectivamente, soma da distância, média das distâncias máximas, média das distâncias e coeficiente de variação do volume dos pátios.

A redução dos valores das variáveis de comparação entre o planejamento executado e os propostos revela a eficiência do modelo em determinar o posicionamento ideal para diminuição das distâncias de arraste em cada cenário. A redução de 50,61 km no cenário 1, pode ser considerada como ganho significativo na redução de custos de exploração e de impactos ambientais à floresta.

Em relação às restrições aplicadas a de capacidade máxima de utilização do pátio é importante para se avaliar o planejamento da exploração florestal, desde a atividade de abate até o transporte. Uma vez que o pátio tenha sua capacidade suporte de 350 m³ preenchida, será necessário realizar o transporte da madeira possibilitando que outras toras possam ser arrastadas, o pátio nessas condições do qual necessita atender um valor acima da sua capacidade suporte é denominado pátio “quente”, ou seja, no planejamento das atividades de campo desse pátio, é necessário levar em consideração o transporte após o pátio atingir sua capacidade suporte, bem como o planejamento de abate e arraste.

Nos cenários com restrição de distância (cenário 1 e 3) a quantidade de pátios alocados foi maior, devido à restrição de distância ser mais limitante que a de capacidade máxima. Isso ocorre devido a heterogeneidade na distribuição da localização das árvores, dessa forma a alocação de um novo pátio propicia redução na função objetivo, mas pode influenciar diretamente na abertura de mais estradas florestais.

Tabela 6 – Resumo das variáveis de avaliação dos cenários

Parâmetros	Executado	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Soma da distância (km)	301,01	250,40 (1)	299,31 (4)	255,95 (2)	290,42 (3)
Média da Dist. Máxima (m)	393,16	310,10 (1)	383,90 (4)	314,37 (2)	368,33 (3)
Média das Distâncias (m)	195,23	163,30 (1)	190,80 (4)	165,61 (2)	184,82 (3)
Coeficiente de variação do volume dos pátios (%)	39,50	36,62 (2)	34,11 (1)	40,27 (4)	38,58 (3)
Total	-	5	13	10	12

(): ranqueamento dos cenários

Quando analisado o valor da função objetivo para cada subárea é possível identificar o comportamento de cada cenário. As subáreas 2 e 5, não tiveram variação em sua solução diante das diferentes propostas do modelo, tendo em vista que o número pequeno de indivíduos nas duas subáreas, onde a restrição de distância e capacidade não tiveram seus limites alcançados (Tabela 7)

O cenário 1 e 3 obtiveram semelhança em seus resultados, a presença da restrição de distância promoveu resultados iguais na função objetivo das subáreas 2 e 5. Desse modo, apenas, nas subáreas 8 e 9 a restrição de distância influenciou no resultado final do modelo.

Já os cenários 2 e 4 apresentaram uma maior variação em relação aos seus resultados, influenciados diretamente pela restrição de capacidade. No cenário 2 realizou-se o cálculo do número ideal de pátios de acordo com o volume total de cada subárea e no cenário 4 determinou-se o número de pátios de acordo com o executado no projeto, distribuindo em cada subárea o número de pátios correspondente ao executado.

Tabela 7– Valores da função objetivo dos cenários em cada subárea

Subárea	Função objetivo (km)				Coeficiente de variação
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	
1	18,26	18,02	18,26	23,18	12,88
2	1,23	1,23	1,23	1,23	0,00
3	58,99	66,35	58,99	60,17	5,77
4	14,04	16,43	14,04	16,43	9,05
5	5,04	5,04	5,04	5,04	0,00
6	36,57	36,32	36,57	36,32	0,40
7	17,49	26,46	17,49	21,76	20,56
8	31,88	37,29	37,87	37,29	7,80
9	3,09	2,63	2,63	2,63	8,50
10	23,77	37,29	23,77	48,53	35,90
11	40,07	52,26	40,07	37,85	15,38

Ao analisar os valores da função objetivo entre os cenários, observa-se pouca variação na solução, mesmo com configurações distintas. A subárea 10 apresentou a maior variação em função da ausência da restrição de capacidade no cenário 4, que proporcionou o arraste de toras em maiores distâncias.

Verificou-se que a restrição de distância foi mais limitante que a restrição de volume máximo, pois um indivíduo posicionado acima do limite máximo de distância forçou o modelo a selecionar a abertura de um novo pátio de estocagem e realizar a reconfiguração da alocação das árvores. Desse modo, quando calculado o número ótimo de pátios em função do volume por subárea, já se fornece um limite mínimo necessário de pátios de estocagem em função do volume, assim quando ocorre o inverso, o posicionamento de um único indivíduo acima da distância máxima em

relação aos pátios, resulta no reposicionamento do pátio ou necessidade da abertura de um novo.

Essa limitação de distância de arraste proporcionou, em relação aos outros cenários, a maior abertura de pátios. Já a restrição de capacidade máxima não foi a mais restritiva na solução ótima, pois teve uma maior flexibilidade do seu valor em relação ao ótimo de 350m³ de madeira estocada e pela densidade volumétrica da área de estudo.

Em relação ao processamento dos dados, foram alocados 7.896 possíveis pátios de estocagem para atender a demanda de 1.478 indivíduos exploráveis. Esta configuração remete à criação de 11.678.185 variáveis. A subdivisão da área direcionada pela hidrografia, visando evitar o arraste através de áreas de preservação permanente, influenciou positivamente na busca da solução exata do modelo, pois reduziu o número de combinações do modelo dentro de cada subárea.

Na Tabela 8 são apresentadas as estatísticas de processamento dos dados nos quatro cenários propostos nas 11 subáreas formadas. Os tempos foram relativamente curtos quando comparados ao trabalho de Martinhago (2012) que determinou o tempo limite do processamento por busca de solução exata de 72.000 segundos. Desse modo, não havendo tempo de processamento superior aos 557,78 segundos no processamento dos cenários a solução foi encontrada em tempo aceitável. Em média o tempo de processamento encontrado foi de 21,81; 164,09; 17,99 e 91,61 segundos para os cenários 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

Tabela 8 - Estatísticas de processamento dos cenários analisados

Subárea a	Variáveis	Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3		Cenário 4	
		Restrições	T (s)	Restrições	T (s)	Restrições	T (s)	Restrições	T (s)
1	68.329	136.103	12,44	68.432	31,39	135.446	10,09	67.775	334,78
2	980	1.880	0,23	990	0,30	1.791	0,23	901	0,30
3	278.731	556.931	102,07	279.056	557,78	556.076	56,01	278.201	127,02
4	53.019	105.593	4,78	53.116	15,52	105.052	4,48	52.575	7,92
5	7.649	15.089	1,69	7.680	8,66	14.850	1,64	7.441	10,94
6	190.234	379.754	23,44	190.440	194,31	378.835	24,08	189.521	61,05
7	81.241	161.923	6,63	81.360	32,27	161.246	7,22	80.683	17,47
8	243.541	486.097	31,05	243.745	319,16	484.090	36,50	242.557	77,22
9	3.865	7.583	0,80	3.887	3,59	7.415	0,91	3.719	3,69
10	149.936	299.072	17,84	150.092	197,08	298.117	17,02	149.137	255,31
11	262.651	524.231	38,97	262.856	444,91	522.956	39,72	261.581	112,06
Total	1.340.176	2.674.256	239,94	1.341.654	1.804,97	2.665.874,00	197,90	1.334.091,00	1.007,76
Média	121.834,18	243.114,18	21,81	121.968,55	164,09	242.352,18	17,99	121.281,00	91,61

T: tempo

4.2 Análise da distribuição dos indivíduos em relação às distâncias euclidianas de arraste dos cenários

A análise das distâncias de arraste é importante para o conhecimento da localização das árvores em relação à distância ótima de arraste calculada de 258 metros. Para a análise, foram utilizados três intervalos visando conhecer a distribuição dos indivíduos no planejamento executado nos 4 cenários propostos (Tabela 9). No planejamento executado 28% dos indivíduos posicionaram-se acima da distância ótima de arraste.

Tabela 9 – Análise das distâncias de arraste executadas no projeto

Pátio	Menor 258 m	258 a 300 m	Maior que 300 m
1	55%	17%	28%
2	86%	14%	0%
3	82%	11%	7%
4	76%	10%	14%
5	82%	18%	0%
6	75%	15%	10%
7	75%	5%	20%
8	79%	5%	16%
9	86%	3%	11%
10	73%	20%	7%
11	79%	5%	17%
12	70%	30%	0%
13	66%	11%	23%
14	89%	7%	4%
15	79%	8%	13%
16	90%	10%	0%
17	91%	4%	4%
18	62%	20%	18%
19	53%	20%	27%
20	74%	17%	9%
21	67%	8%	25%
22	49%	16%	35%
23	98%	3%	0%
24	65%	28%	7%
25	71%	23%	6%
26	90%	5%	5%
27	76%	5%	19%
Média	72%	13%	15%

No cenário 1 a análise das distâncias obteve valor médio acima de 85% para indivíduos dentro do limite máximo de arraste, demonstrando que em média dos 1.478 indivíduos, apenas 204 foram alocados acima da distância ideal de arraste (Tabela 10).

Tabela 10 – Análise das distâncias de arraste do Cenário 1: modelo capacitado com restrição de distância

Pátio	Código	Menor 258 m	258 a 300 m	Maior que 300 m
1	P229	75%	14%	11%
2	P234	81%	12%	7%
3	P23	100%	0%	0%
4	P1121	84%	4%	12%
5	P1188	92%	2%	6%
6	P1453	77%	12%	12%
7	P1795	69%	15%	16%
8	P395	87%	6%	6%
9	P709	88%	11%	1%
10	P142	95%	5%	0%
11	P176	86%	3%	11%
12	P22	95%	5%	0%
13	P57	84%	16%	0%
14	P552	85%	11%	4%
15	P733	66%	24%	10%
16	P907	97%	3%	0%
17	P274	95%	2%	2%
18	P55	86%	14%	0%
19	P62	81%	14%	6%
20	P671	96%	0%	4%
21	P1065	98%	2%	0%
22	P469	85%	5%	10%
23	P724	83%	12%	5%
24	P894	89%	11%	0%
25	P129	95%	5%	0%
26	P103	100%	0%	0%
27	P381	98%	3%	0%
28	P408	89%	5%	5%
29	P513	92%	8%	0%
30	P1206	71%	20%	10%
31	P173	84%	14%	2%
32	P400	67%	21%	13%
33	P97	78%	13%	10%
	Média	86,2%	8,8%	5,0%

No cenário 2, com a ausência da restrição de distância, 23% dos indivíduos em média apresentaram-se acima do limite máximo de arraste, porém houve uma boa distribuição no segundo e terceiro limite, havendo uma diminuição de indivíduos localizados dentro da área de distância máxima ideal (Tabela 11).

Tabela 11 – Análise das distâncias de arraste do cenário 2: modelo capacitado sem restrição de distância

Pátio	Código	Menor 258 m	258 a 300 m	Maior que 300 m
1	P194	95%	5%	0%
2	P562	83%	9%	7%
3	P23	100%	0%	0%
4	P1251	59%	14%	27%

Pátio	Código	Menor 258 m	258 a 300 m	Maior que 300 m
5	P1320	72%	16%	12%
6	P1629	83%	13%	4%
7	P836	78%	8%	14%
8	P145	81%	9%	9%
9	P33	95%	5%	0%
10	P57	84%	16%	0%
11	P562	84%	9%	6%
12	P746	78%	16%	6%
13	P907	97%	3%	0%
14	P172	57%	9%	34%
15	P658	84%	9%	7%
16	P1073	77%	8%	15%
16	P332	76%	12%	12%
18	P740	76%	13%	11%
19	P129	95%	5%	0%
20	P609	65%	10%	26%
21	P766	52%	20%	28%
22	P327	44%	26%	30%
23	P960	47%	21%	31%
	Média	77%	11%	12%

O cenário 3 obteve em média 86% dos indivíduos dentro da distância ótima de arraste, isso representa cerca de 1.271 indivíduos (Tabela 12). Nos cenários com restrição de distância existe uma relação mais forte na localização de indivíduos dentro do limite de distância ideal como pode ser observado no cenário 1 e 3, proporcionando conseqüentemente um maior ganho de tempo na exploração, pela relação da distância de arraste com o rendimento da atividade.

Tabela 12 –Análise das distâncias de arraste do cenário 3: modelo não capacitado com restrição de distância.

Pátio	Código	Menor 258 m	258 a 300 m	Maior que 300 m
1	P229	75%	14%	11%
2	P234	81%	12%	7%
3	P23	100%	0%	0%
4	P1121	84%	4%	12%
5	P1188	92%	2%	6%
6	P1453	77%	12%	12%
7	P1795	69%	15%	16%
8	P395	87%	6%	6%
9	P709	88%	11%	1%
10	P142	95%	5%	0%
11	P176	86%	3%	11%
12	P22	95%	5%	0%
13	P57	84%	16%	0%
14	P552	85%	11%	4%
15	P733	66%	24%	10%
16	P907	97%	3%	0%

Pátio	Código	Menor 258 m	258 a 300 m	Maior que 300 m
17	P274	95%	2%	2%
18	P55	86%	14%	0%
19	P62	81%	14%	6%
20	P671	96%	0%	4%
21	P1075	79%	16%	5%
22	P128	83%	11%	6%
23	P316	82%	12%	7%
24	P129	95%	0%	5%
25	P103	100%	0%	0%
26	P381	98%	3%	0%
27	P408	89%	5%	5%
28	P513	92%	8%	0%
29	P1206	71%	20%	10%
30	P173	84%	14%	2%
31	P400	67%	21%	13%
32	P97	78%	13%	10%
	Média	86%	9%	5%

O cenário 4 apresentou uma boa concentração de indivíduos dentro da distância máxima ideal, porém a configuração de alocação dos pátios proporcionou que em média 20% dos indivíduos estivessem localizados acima da distância máxima ideal de arraste (Tabela 13).

Tabela 13 – Análise das distâncias de arraste do cenário 4: modelo não capacitado sem restrição de distância

Pátio	Código	Menor 258 m	258 a 300 m	Maior que 300 m
1	P226	64%	11%	25%
2	P23	100%	0%	0%
3	P1275	85%	14%	2%
4	P1283	80%	16%	5%
5	P1320	77%	13%	10%
6	P1658	90%	8%	1%
7	P836	79%	7%	14%
8	P145	81%	9%	9%
9	P33	95%	5%	0%
10	P57	84%	16%	0%
11	P562	84%	9%	6%
12	P746	78%	16%	6%
13	P907	97%	3%	0%
14	P170	72%	8%	20%
15	P55	86%	14%	0%
16	P658	84%	9%	7%
17	P1073	77%	8%	15%
18	P332	76%	12%	12%
19	P740	76%	13%	11%

Pátio	Código	Menor 258 m	258 a 300 m	Maior que 300 m
20	P129	95%	0%	5%
21	P703	3%	5%	92%
22	P820	92%	6%	3%
23	P87	77%	4%	19%
24	P382	86%	12%	2%
25	P457	91%	7%	2%
26	P697	94%	3%	3%
27	P929	57%	18%	25%
Média		80%	9%	11%

Quando comparado com o planejamento executado todos os cenários apresentaram redução na distância de arraste dos indivíduos em todos os intervalos. O cenário 1 foi o de melhor resultado, pois obteve a melhor distribuição das árvores em relação aos pátios, (Tabela 14) tendo reduções médias da distância de 20%, 32% e 67%, respectivamente, para os intervalos de distância menor que 258m, entre 258 e 300 m e maior que 300 m.

Tabela 14 – Ranqueamento do melhor cenário em função da distribuição da distância de arraste

Situação	Menor 258 m	258 a 300 m	Maior que 300 m
Planejamento executado	73%	13%	15%
Cenário 1	86.2%	8.8%	5%
Cenário 2	77%	11%	12%
Cenário 3	86%	9%	5%
Cenário 4	80%	9%	11%

Os cenários configurados com restrição de distância foram os que mais influenciaram na minimização da distância e na abertura de novos pátios. Outro ponto positivo da restrição é fazer com que uma maior percentagem de indivíduos, sejam atendidos dentro de uma distância ideal calculada de acordo com as características da área.

4.3 Análise dos cenários pós planejamento das estradas florestais e trilhas de arraste

Após a determinação do posicionamento de alocação de pátios, mesmo obtendo resultados positivos em relação à diminuição de distâncias de arraste, se

faz necessária a realização do planejamento de exploração. Como o modelo proposto tem a função de definir os pátios de estocagem que devem ser abertos, o planejamento consistiu em realizar a definição das estradas florestais e trilhas de arraste.

Desse modo, confeccionou-se o mapa de exploração para cada cenário para posterior análise e comparação com o planejamento executado, de acordo com as Figuras 14, 15, 16, 17 e 18.

Figura 14 – Planejamento do projeto executado



Figura 15 – Planejamento cenário 1

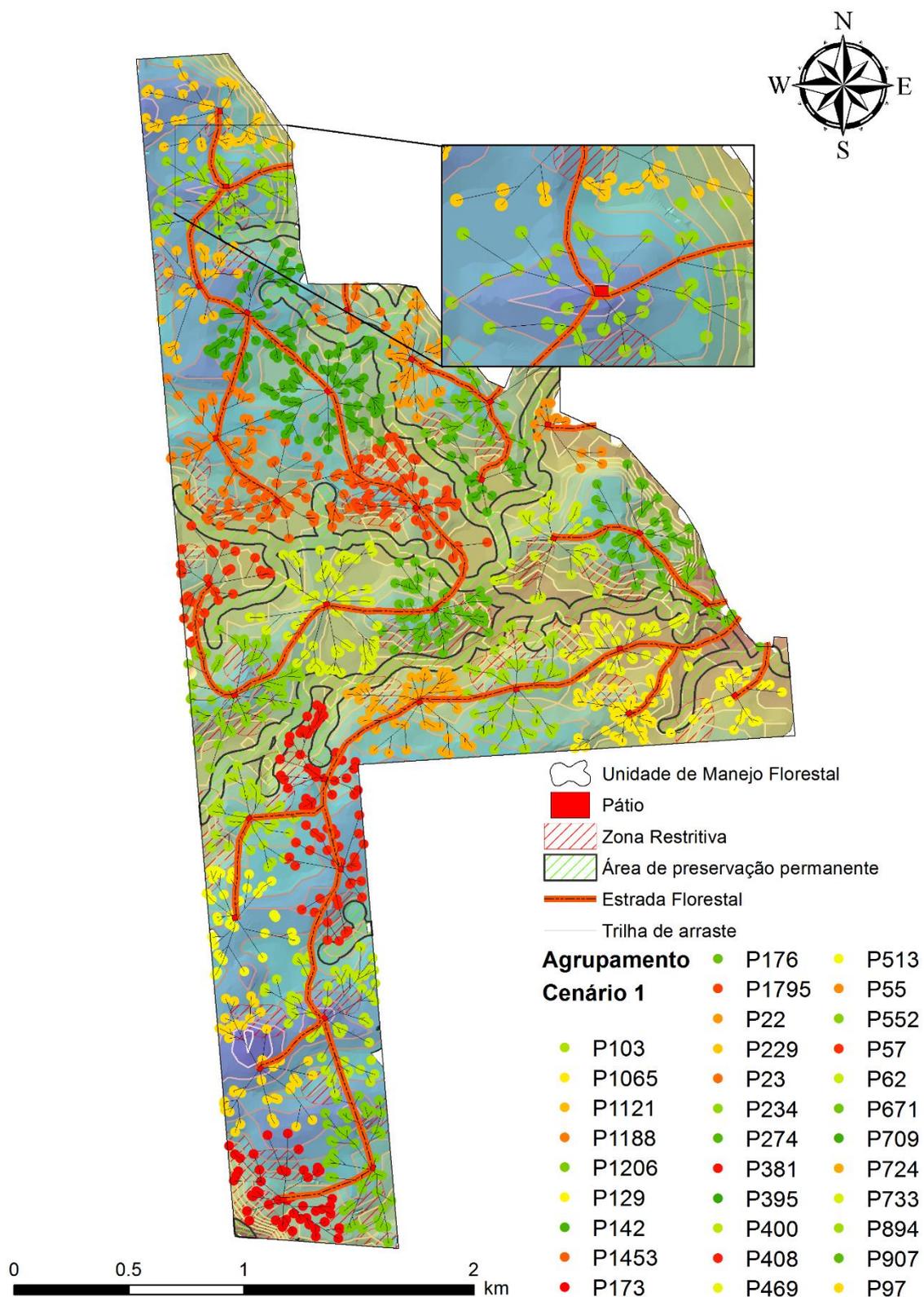


Figura 16 – Planejamento cenário 2

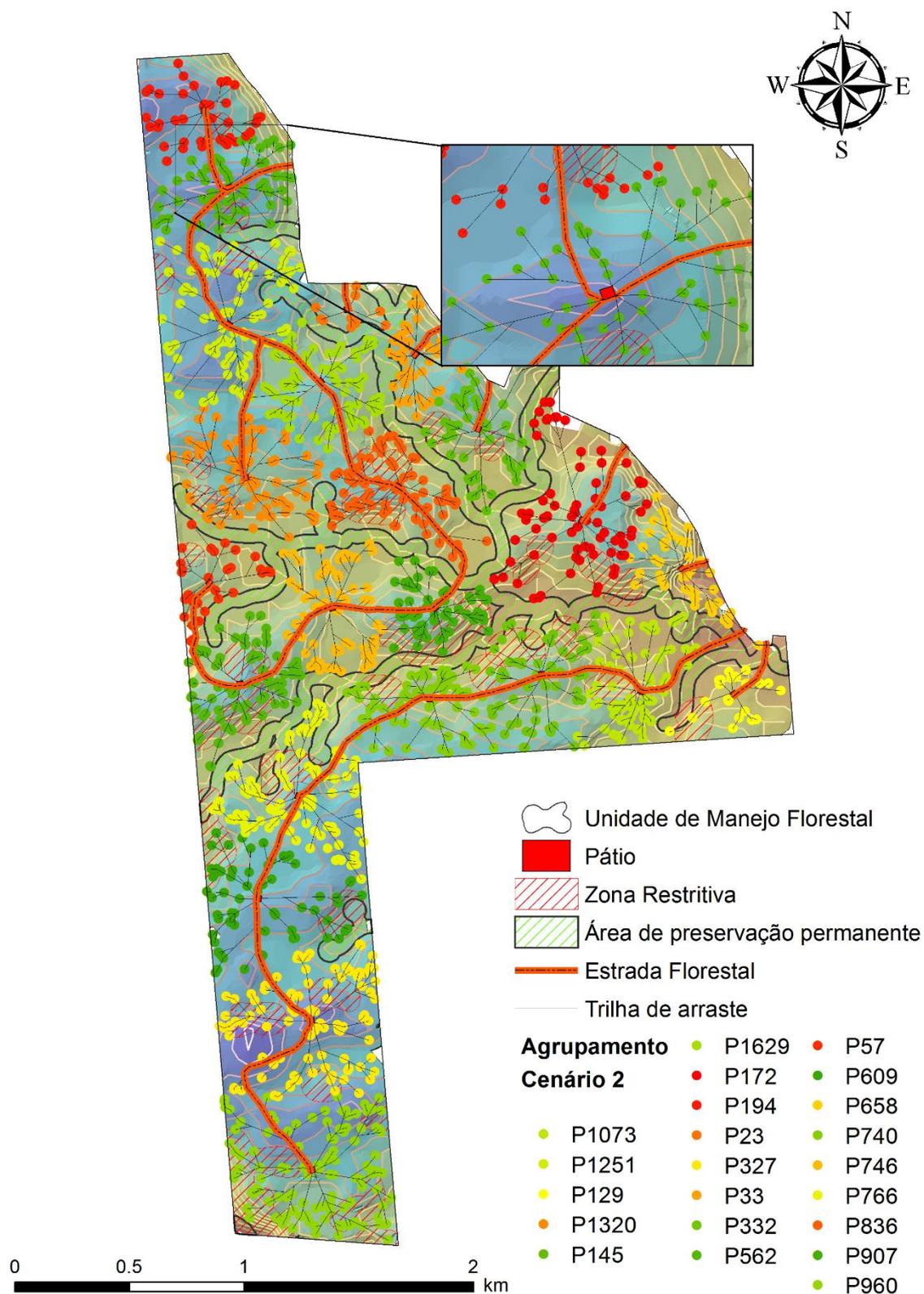


Figura 17 – Planejamento cenário 3

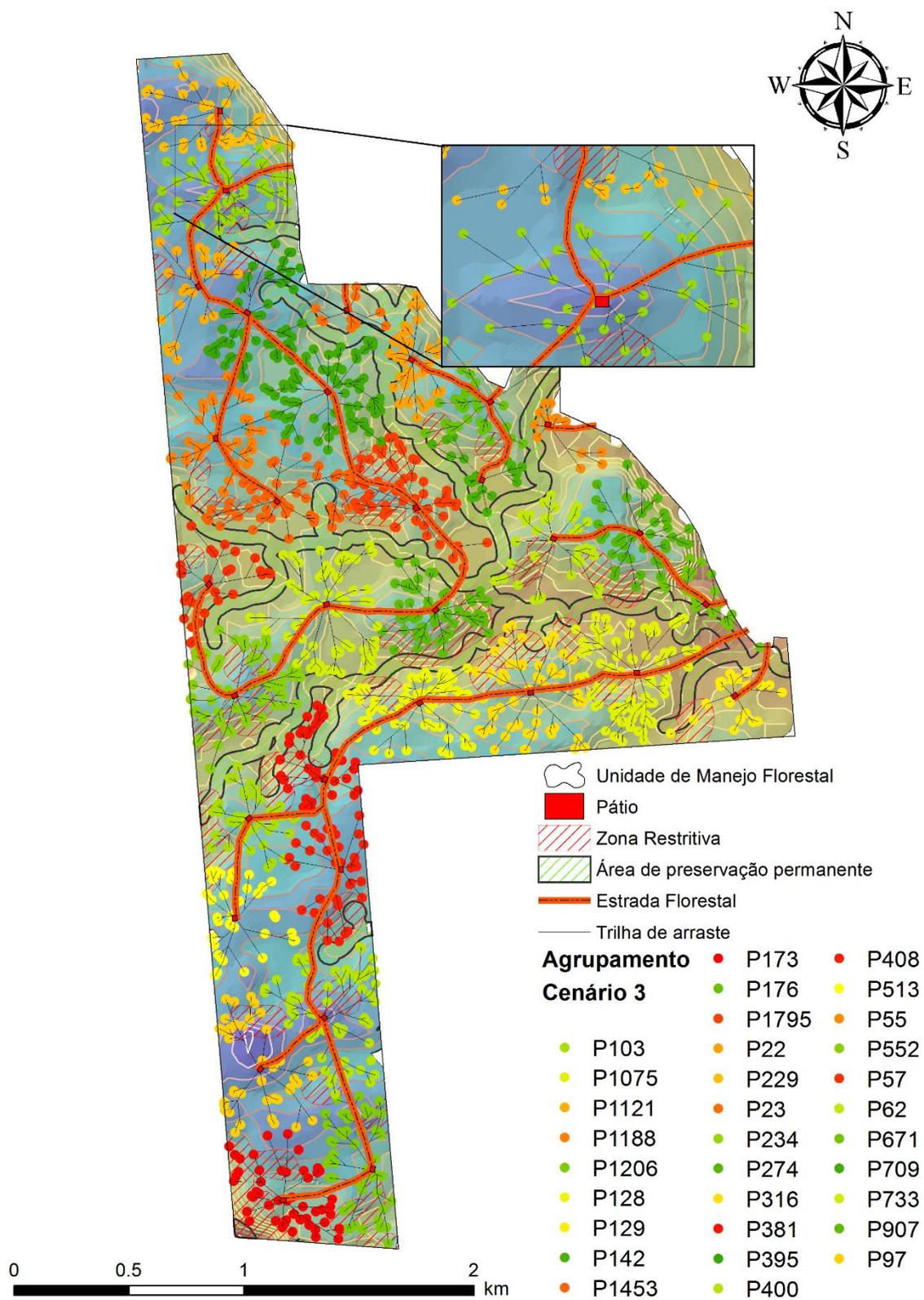
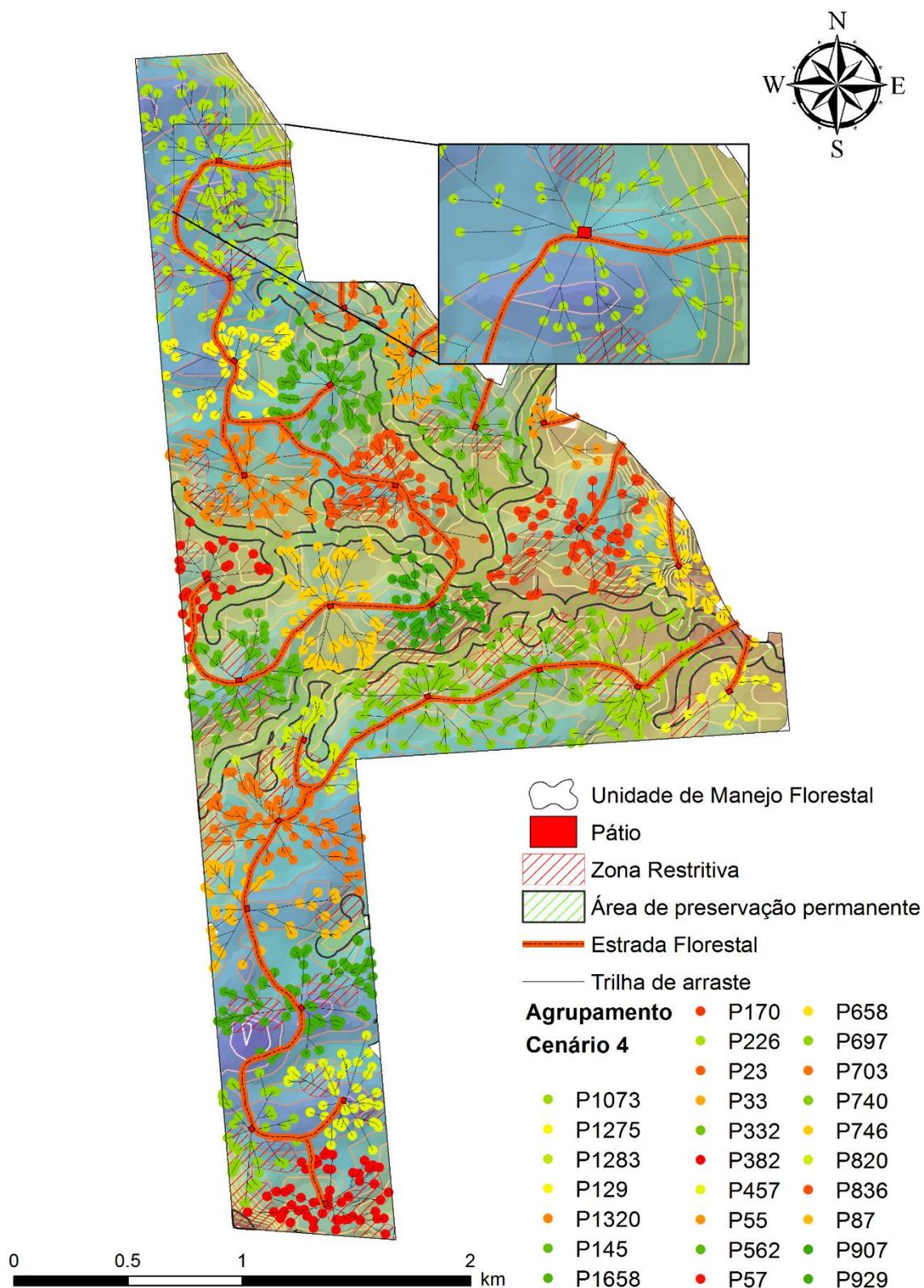


Figura 18 – Planejamento cenário 4



Após a confecção do planejamento da exploração em cada cenário, obteve-se a quantidade total de estradas florestais e trilhas de arraste (Tabela 15), além da estimativa da área impactada pelas atividades (Tabela 16).

Tabela 15 – Planejamento da estrada florestal e trilha de arraste

Cenário	Estrada Florestal (km)	Trilha de arraste (km)
1	14,19	75,99
2	11,25	79,21
3	13,75	77,24
4	12,51	80,23
Planejamento executado	13,80	92,50

Em relação ao planejamento das estradas florestais apenas o cenário 1 apresentou um aumento de 2,83% em relação ao planejamento executado, sendo o cenário 2 o que obteve melhor resultado diminuindo (-18,48%) a construção de estradas, seguido do cenário 4 (-9,35%) e cenário 3 (-0,36%). Já em relação às trilhas de arraste o cenário 1 obteve o melhor resultado na redução dessa atividade (-17,84), seguido do cenário 3 (-16,49), cenário 2 (-14,37) e cenário 4 (-13,26).

A seleção do melhor cenário foi baseada na relevância do impacto ambiental gerado pela atividade, pois embora o cenário 1 tenha gerado 3,22km a menos de trilhas de arraste que o cenário 2, por outro lado ele gerou 2,94km a mais de construção de estradas florestais. Subtraindo-se a quantidade a mais de estrada do cenário 1 (2,94 km) da quantidade a mais de trilha de arraste do cenário 2 (3,22 km) essa diferença é de 0,28 km, ou seja, a diferença é pouco significativa. Embora essa diferença seja pequena deve-se atentar para o fato de que as estradas florestais geram impactos mais graves que a abertura de trilhas de arraste, pois promovem a raspagem do solo. Desse modo, o cenário 2 configura-se como a melhor opção de planejamento, tendo em vista os argumentos apresentados.

Nesse sentido, de fato o cenário 2 parece ser o mais interessante sob o ponto de vista da produção de impactos ambientais. Observando-se a Tabela 15, nota-se que o cenário 1 foi o que mais produziu estradas. Isso se explica pelo fato de que neste cenário a restrição de distância de arraste levou a abertura de um maior número de pátios o que faz com que uma maior quantidade de estradas seja construída para atender a este maior número de pátios. Raciocínio oposto pode ser empregado para explicar a menor quantidade de estradas produzida pelo cenário 2

(cerca de 18% a menos que o planejamento executado), isto é, a ausência da restrição de distância de arraste proporcionou uma menor quantidade de pátios que por sua vez demandou uma menor quantidade de estradas para interligá-los.

No que diz respeito às trilhas de arraste, considerando a média da quantidade de trilhas de arraste produzidas pelos quatro cenários comparada com o planejamento executado, houve uma redução média de 15,49% na construção de trilhas de arraste, o que mostra a eficácia do modelo de otimização. Fazendo-se uma análise pontual com planejamento executado, o cenário que proporcionou a menor quantidade de trilhas de arraste produzida foi o cenário 1 (-17,85%) e o que proporcionou a maior quantidade foi o cenário 4 (-13,26%). No caso do cenário 1, tal resultado se explica pelo fato de que havendo a restrição de distância de arraste e de volume, foram alocados mais pátios fazendo com que as árvores ficassem mais próximas do mesmo totalizando, assim, uma distância de arraste menor. Raciocínio oposto pode ser construído para o cenário 4, isto é, a ausência das restrições de distância de arraste e volume produziram um menor número de pátios aumentando a distância de ligação das árvores aos pátios e totalizando assim uma maior quantidade de trilhas de arraste.

O cenário 3 obteve resultados superiores ao planejamento executado e similar ao cenário 2, pode-se notar a inversão nas configurações dos cenários, onde o cenário 2 foi configurado com a restrição de volume máximo e sem a restrição de distância, sendo totalmente oposto ao cenário 3. Em decorrência disso, observa-se que a restrição de volume máximo contribuiu para a diminuição no número de pátios e conseqüentemente na redução de estradas. Quando comparados, o cenário 3 produziu menos trilha de arraste que o cenário 2 (-1,97 km), por outro lado produziu uma maior quantidade de estradas florestais (2,50km), raciocínio análogo ao realizado anteriormente, a diferença nos valores é de 0,53 km, remetendo a seguinte situação, mesmo que os valores das duas atividades fossem idênticos, a decisão pelo cenário que produziu mais trilhas de arraste seria selecionada por causar um menor impacto ambiental, que a atividade de abertura de estrada.

Um ponto importante no pensamento exposto anteriormente é que ainda não se conhece a razão da viabilidade entre as atividades de abertura de estradas florestais e trilhas de arraste, ou seja, quantas unidades de construção de trilhas de arraste equivaleriam a uma unidade de abertura de estrada. Em situações como a

realizada anteriormente em que existe pouca diferença, a decisão é clara, sendo melhor desenvolver a atividade que gera menor impacto ambiental, já que em amplitudes maiores entre essas duas atividades, é necessário um estudo mais detalhado.

Outro ponto importante a ser avaliado é a estimativa de impactos ambientais gerados pela atividade de exploração no manejo florestal. Para tal, a Instrução Normativa do Ministério do Meio Ambiente, nº 4 de 04/03/2002, dispõe sobre os procedimentos relativos às atividades de Manejo Florestal Sustentável de Uso Múltiplo na Amazônia Legal (BRASIL, 2002).

Em seu anexo VII, item 2, subitem 2.6, que apresenta informações a respeito da infraestrutura, relata que o impacto gerado pela abertura de estradas florestais pode representar o limite máximo de 1% da área de manejo e para pátios de estocagem de madeira limite máximo de 0,75%. Já no item 3, subitem 3.2, que apresenta informações sobre a fase exploratória, apresenta um limite máximo de 5% de impacto proveniente de trilha de arraste em relação a área de manejo. Porém, em condições adversas pode ocorrer a estimativa de um impacto maior que valor limite, podendo ser justificado tecnicamente, em função da topografia, malha hidrográfica, tipo de solo e outras variáveis relevantes no momento do planejamento.

Verificou-se, ainda, que o modelo de otimização proposto proporcionou uma redução da estimativa de danos ambientais resultantes da abertura de estradas, pátios e trilhas de arraste. Em relação à alocação de pátios, o cenário 2 foi aquele que gerou o menor dano ambiental, representando apenas 0,18% da área de manejo, seguido do cenário 4 com 0,21%, cenário 3 com 0,25%, cenário 1 com 0,26% e o executado com 0,21%, sendo que todos atenderam a legislação de impacto máximo (0,75% da área total).

Quanto às estradas florestais, o cenário 2 também apresentou o menor impacto ambiental com 0,88%, seguido do cenário 4 com 0,98%, cenário 3 com 1,08% e cenário 1 com 1,11%. Nota-se que os cenários 1 e 3 não atenderam a legislação que limita em 1% da área o impacto máximo gerado por estradas florestais. Embora, acima de 1%, o seu planejamento é passível de aprovação, pois não foram muito além do limite máximo e comprovando que alternativas contrárias aumentariam o impacto ambiental.

Em relação às trilhas de arraste, o cenário 1 obteve estimativa de 4,76% de impacto ambiental gerado pela atividade de arraste, seguido do cenário 3 com 4,83%, cenário 2 com 4,95% e cenário 4 com 5,02% (Tabela 16), sendo que a legislação recomenda limite máximo de impacto de 5% da área de manejo, por isso pode-se afirmar que somente o cenário 4 não atendeu a legislação, mas pode ser passivo de aprovação perante argumentação técnica, como citado anteriormente.

Tabela 16 – Estimativa de impacto ambiental provindo da abertura de pátio, estrada florestal e trilha de arraste.

Cenário	Pátio (ha)	%	Estrada florestal* (ha)	%	Trilha de arraste* (ha)	%	Total (%)
1	1,65	0,26(4)	7,08	1,11(4)	30,39	4,76(1)	6,13
2	1,15	0,18(1)	5,64	0,88(1)	31,58	4,95(3)	6,01
3	1,60	0,25(3)	6,89	1,08(3)	30,86	4,83(2)	6,16
4	1,35	0,21(2)	6,25	0,98(2)	32,02	5,02(4)	6,21
Executado	1,35	0,21	6,88	1,08	36,34	5,69	6,98

(): ranqueamento

Na Tabela 16, nota-se que houve redução do impacto ambiental em todas as atividades avaliadas. O cenário que promoveu o menor impacto estimado, foi o cenário 2 impactando cerca de 6,01% da área de manejo, quando comparado com o planejamento executado obteve reduções de 14,28%, 18,51% e 13,00%, respectivamente para pátio, estrada florestal e trilha de arraste.

A redução geral de cada cenário em relação ao planejamento executado foi de 12,18%, 13,90%, 11,75% e 11,03% para os cenários 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Porém, na configuração do cenário 1, os pátios de estocagem de madeira tiveram um aumento de 22,22% em relação ao impacto ambiental estimado pelo planejamento executado.

No impacto proveniente das estradas florestais, apenas o cenário 1 e 3 tiveram aumento de 2,91% e 0,15%, respectivamente. Já os cenários 2 e 4 obtiveram uma redução de 18,03% e 9,16%, respectivamente, nas trilhas de arraste foi em média de 14,11%, com 16,37, 13,10, 15,08 e 11,89%, respectivamente, para os cenários 1, 2, 3 e 4.

5. CONCLUSÕES

Conclui-se que a adoção da metodologia é viável para o planejamento de alocação de pátios de estocagem em planos de manejo florestal na Amazônia. A metodologia de análise pela distância euclidiana otimiza a formação de grupos e posicionamento dos pátios proporcionando uma redução das distâncias de arraste, porém não é o suficiente para garantir a minimização do arraste, sendo necessário o planejamento das estradas e trilhas de arraste para obtenção do ganho real no planejamento.

Por fim, o modelo proporcionou redução do número de pátios alocados, das distâncias de arraste e estradas florestais, obtendo reduções em todos os cenários propostos em relação ao planejamento executado. O modelo utilizado no cenário 2 obteve maiores reduções, portanto, sendo melhor utilizado para o planejamento em questão.

REFERÊNCIAS

ACRE. Governo do Estado do Acre. Programa Estadual de Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Acre. **Zoneamento ecológico-econômico: recursos naturais e meio ambiente – documento final**. Rio Branco: SECTMA, 2000, v.1, 116 p.

ALMEIDA, W. G. DE; SENNE, E. L. F.; YANASSE, H. H. Uma solução exata para o Problema de Localização de Concentradores com Alocação Múltipla. **XII Workshop de Computação Aplicada - WORCAP 2012**, p. 7, 2012.

AMARAL, P.; VERÍSSIMO, A.; BARRETO, P.; VIDAL, E. **Floresta para sempre: um manual para produção de madeira na Amazônia**. Belém: Imazon, 1998, 130 p.

AMORIM, F. M. S. **Metaheurísticas aplicadas ao problema das p -medianas**. Belo Horizonte: CEFET-MG, 2011. 99 p. Dissertações (Mestrado em Modelagem matemática e computacional) CEFET-MG, 2011.

ANDRADE, A. Q. DE; SANTORO, M. C. Um modelo para o planejamento operacional da lavra com alocação de equipamentos de carga e considerando pilha de estoque. **III CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**, 10 p, 2013.

ARAKAKI, R. G. I. **Heurística de localização-alocação para problemas de localização de facilidades**. São José dos Campos: INPE, 2003. 79 p. Tese (Doutorado em Computação aplicada) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2003.

ARAUJO, H. J. B. **Manejo florestal em pequenas propriedades do Projeto de Colonização Pedro Peixoto, no Acre**. Ambiente Brasil, 2005. Disponível em: <http://noticias.ambientebrasil.com.br/artigos/2005/08/06/20328-manejo-florestal-em-pequenas-propriedades-do-projeto-de-colonizacao-pedro-peixoto-no-acre.html>. Acesso em: 19 jan. 2015.

ARROYO, J. E. C.; MARQUES, T. B. **Heurística GRASP aplicado ao problema de alocação de antenas de transmissão**. XXXIX Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Goiás, Goiânia, Brasil. 2006.

AVELLA, P.; BOCCIA, M.; SALERNO, S.; VASILYEV, I. An aggregation heuristic for large scale p-median problem. **Computers & Operations Research**, v. 39, n. 7, p. 1625–1632, 2012.

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

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: logística empresarial**. 5ªed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J. **Logística empresarial**: processo de integração da cadeia de suprimento. São Paulo: Atlas, 2001. 602 p.

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 nº 4, de 4 de março de 2002. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 7 mar. 2002.

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IBAMA). Norma de execução n.º 1, de 24 abril de 2007. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, n. 238, 13 dez, 2007. Seção 1, p. 155-188.

BRASIL. Instrução normativa nº 5, de 11 de dezembro de 2006. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 13 de dezembro de 2006.

BRASIL. Resolução Nº 406, de 02 de fevereiro de 2009. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, n. 26, 06 de fev. 2009, p. 100.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 28 de maio 2012.

BRAZ, E. M. **Subsídios para o planejamento do manejo de florestas tropicais da amazônia**. Santa Maria: UFSM, 2010. 236 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Santa Maria, 2010.

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

BRIMBERG, J.; DREZNER, Z. A new heuristic for solving the p-median problem in the plane. **Computers and Operations Research**, v. 40, n. 1, p. 427–437, 2013.

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

CARDOSO, S. R. DE S. N. **Optimização de Rotas e da Frota Associada**. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, 2009. 103 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial) Universidade Técnica de Lisboa, 2009.

CHURCH, R. L. BEAMR: An exact and approximate model for the p-median problem. **Computers & Operations Research**, v. 35, n. 2, p. 417–426, 2008.

COLIN, E. C. **Pesquisa Operacional**: 170 aplicações em estratégia, finanças, logística, produção, marketing e vendas. Rio de Janeiro: LTC, 2011, p. 501.

CONTRERAS, M.; CHUNG, W. A computer approach to finding na optimal log landing location nad analyzing influencing factors for ground-based timber

harvesting. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 37, n. 2, p. 276-292, Feb. 2007.

COSTA, L. R **O problema de localização capacitado em dois níveis e sua aplicação ao planejamento de logística reversa**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2009. 169 p. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia de Produção) Instituto Alberto Luiz Coimbra de pós-graduação e pesquisa de engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, 2009.

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

DYKSTRA, D. P. **Mathematical programming for natural resource management**. New York: McGraw-Hill, 1984.318 p.

DASKIN, M. Network and Discrete Location: **Models, Algorithms and Applications**. Wiley Interscience, New York, USA.1995.

EBERLAN, J. A. **Location Optimization of Continental United States Strip Alert Sites Supporting Homeland Defense**. Ohio: Air Force Institute of Technology, 2004. 197 f. Thesis (Doctor in Science in Logistics Management). Institute of Technology, 2004.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Súmula da X Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro. 1979, 83 p.

EMMERT, F. **Combinação de Dados de Campo e Métodos Computacionais para o Planejamento da Exploração Florestal na Amazônia**. Brasília: Unb, 2014. 190 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, DF, 2014.

FIGUEIREDO, E. O. **Modelagem biométrica para árvores individuais a partir do LIDAR em área de manejo de precisão em florestas tropicais na Amazônia ocidental**. Manaus-INPA, 2014. 104 p. Tese (Doutorado em Ciências de Florestas Tropicais) Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia--INPA, 2014.

FIGUEIREDO, E. O.; BRAZ, E. M.; OLIVEIRA, M. V. N. d'. **Manejo de precisão em florestas tropicais: Modelo digital de exploração florestal**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2007. 183p.

FIGUEIREDO, E. O.;LIMA, Q. S.Coeficientes Técnicos para o Inventário e Manejo Florestal com Emprego do Modelo Digital de Exploração Florestal (Modelflora). (**Embrapa-AC:Comunicado Técnico 169**), Dez. 2008, 19 p.

FINKE, G. **Operations research and networks**. 1 ed. Wiley, 2008. 265 p.

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: IBAMA/Pro Manejo, 2005. 271 p.

FUNDAÇÃO FLORESTA TROPICAL. Manual de procedimentos técnicos para condução de manejo florestal e exploração de impacto reduzido. **(Manual)**. 2002. 94 p.

GAREY, M. R.; JOHNSON, D. **Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness.** New York. Freeman and Company. 1979, p. 347

GOLDBARG, M. C.; LUNA, H. P. C. **Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos.** Rio de Janeiro: 2000. 649 p.

HENRIQUE, P.; ANTÔNIO, M.; JÚNIOR, I. Otimização operacional de impacto reduzido no corte seletivo de uma floresta inequidiana. **Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, p. 676–685, 2013.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à pesquisa operacional.** 8. ed. Porto Alegre: AMGH, 2010. 852 p.

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

IBGE. **Projeto de Proteção do Meio Ambiente e das Comunidades Indígenas - PMACI I. - Diagnóstico Geoambiental e Socioeconômico - Área de Influência da Br-364 trecho Rio Branco/Cruzeiro do Sul.** Rio de Janeiro, IBGE, 1994, v. 2, 144 p.

ISAAC JÚNIOR, M. A.; GOMIDE, L. R.; SILVA, P. H.; ALVES, J. A.; FIGUEIREDO, E. O. **Locação de pátios de armazenamento de madeira em um plano de manejo florestal na amazônia ocidental.** XLVI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Salvador, Bahia, Brasil. 2014.

ISLER, C. A.; BONASSA, A. C.; CUNHA, C. B. DA. Algoritmo genético para resolução do problema de p-medianas capacitado associado à distribuição de peças automotivas. **TRANSPORTES**, v. 20, n. 2, p. 5–14, 2012.

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.

LEE, W.; YANG, N. Location problems solving by spreadsheets. **WSEAS TRANSACTIONS on BUSINESS and ECONOMICS**, v. 6, n. 8, p. 469–480, 2009.

LEITE, H.G. **Conversão de troncos em multiprodutos da madeira, utilizando programação dinâmica.** Viçosa: UFV, 1994. 230p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa. 1994.

LORENA, L.A.N. E FURTADO, J.C. **Constructive genetic algorithm for clustering problems**. *Evolutionary Computation*, v. 9, p. 309–328. 2001.

LÓSS, Z. E. **O Desenvolvimento da Pesquisa Operacional no Brasil**. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, 1981.

LOUZADA, F. L. R. O.; SANTOS, A. R.; SILVA, A. G. **Delimitação de corredores ecológicos no ArcGIS 9.3**, Alegre :CAUFES, 2010.50 p.

MACHADO, M. P. O. **Custo do manejo florestal madeireiro na Amazônia: um estudo de caso no Estado do Acre, 2012**. Rio Branco, Acre, 2012.75 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) Centro de Ciências Biológicas e da Natureza, Universidade Federal do Acre, Rio Branco, Acre, 2012.

MAPA, S. M. S. **Localização-alocação de instalações com sistema de informações geográficas e modelagem matemática**. Itajubá-MG, UNIFEI. 2007, 142 p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia de produção) Universidade Federal de Itajubá, 2007.

MAPA, S. M. S.; LIMA, R. DA S. **Análise do desempenho de um sistema de informações geográficas em problemas de localização de instalações**. 12 p. 2007. Disponível em:
http://www.researchgate.net/publication/266468782_ANLISE_DO_DESEMPENHO_DE_UM_SISTEMA_DE_INFORMAES_GEOGRFICAS_EM_PROBLEMAS_DE_LOCALIZAO_DE_INSTALAES>. Acesso em: 14 jan. 2015.

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**. São Paulo : Cultura Acadêmica : Universidade Estadual Paulista, Pró-Reitoria de Graduação, 2011.176 p.

MARTINHAGO, A. Z. **Otimização para a locação de pátios de estocagem para exploração de impacto reduzido na Amazônia brasileira**. Lavras: UFLA, 2012. 162 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

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.

MORAIS, M. L. **Análise comparativa para o problema de locação: modelo não linear geral versus modelo das p-medianas com variáveis inteiras - um estudo de caso**. São Paulo: UNICAMP, 2011. 79 p. Dissertação (Mestrado em matemática aplicada) UNICAMP, 2011.

NOVAES, A.G. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição**: estratégia, operação e avaliação. 2.ed. Rio de Janeiro: Campus, 2004.

OIMT. **Reseña anual y evaluación de la situación mundial de las maderas.** Organización Internacional de las Maderas Tropicales. Yokohama, Japón. OIMT. 2006. 210 p.

OLIVEIRA, F. M.; ALOISE, D. J.; LIMA JÚNIOR, F. C.; ALOISE, D.; NASCIMENTO, H. A. D. Problema de localização de seções eleitorais e alocação de eleitores. **Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, p. 1332–1343, 2013.

PARK, G.; LEE, Y.; HAN, J. A two-level location-allocation problem in designing local access fiber optic networks. **Computers and Operations Research**, v. 51, p. 52–63, 2014.

PINHEIRO, O. S. **Modelagem e otimização do rendimento de uma caleira de recuperação em uma indústria de celulose Kraft.** Coronel Fabriciano: MG, 2011. 85 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) Centro Universitário do Leste de Minas Gerais, 2011.

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, 1999.

PONTIN, V. M.; GARCIA, R. A.; BANDEIRA NETO, P. Análise de modelos matemáticos para o problema probabilístico de localização- alocação de máxima cobertura. **CADERNOS DO IME – Série Estatística**, v. 8, p. 14, 2010.

RIBEIRO, C. A. A. S. Floresta de Precisão. In: MACHADO, C. C. (Ed.). **Colheita Florestal**, Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2002, p. 311-335.

ROLLAND, E.; SCHILLING, D. A.; CURRENT, J. R. An efficient tabu search procedure for the p-Median Problem. **European Journal of Operational Research**. v. 7, p. 329-342, 1996.

ROSA, R. S. **Aplicação de p-medianas para atendimento aos colégios estaduais por viaturas do batalhão de patrulha escolar.** Curitiba: UFPR, 2011. 154 p. Dissertação (Mestrado em Métodos Numéricos em Engenharia) Universidade Federal do Paraná, 2011.

ROSOT, M. A., BARCZAK, C. L. e COSTA, D. M. B. **Análise da vulnerabilidade do manguezal do Itacorubi às ações antrópicas utilizando imagens de satélite e técnicas de geoprocessamento.** Florianópolis. Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. 2000.

ROTTA, G. W.; MICOL, L.; SANTOS, N. B. **Manejo sustentável no portal da Amazônia:** Um benefício econômico, social e ambiental, Ilustrações de IFT e Imazon, Alta Floresta-MT: ICV, 2006, 24 p.

SAATY, T.L. **The Analytic Hierarchy Process**, McGraw- Hill, 1980.

SAMPAIO, M. E. C. S. **Aplicação de metaheurística ao problema de localização de escolas de ensino fundamental**. 1999. Dissertação (Mestrado em Métodos numéricos em Engenharia) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Florestas do Brasil em resumo - 2010: dados de 2005-2010**. Brasília: SFB, 2010. p. 152

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Florestas do Brasil em resumo - 2013: dados de 2007-2012**. Brasília: SFB, 2013. 188 p.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. Gestão de Florestas Públicas – Relatório 2011. Ministério do Meio Ambiente. (**Relatório Anual**), Brasília: MMA/SFB, 2012. 70 p.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO; INSTITUTO DO HOMEM; MEIO AMBIENTE DA AMAZÔNIA. **A atividade madeireira na amazônia brasileira: produção, receita e mercados**. Belém, PA: 2010. 20p.

SILVA, G. F. GARCIA, H. L.; SILVA, M. L.; RODRIGUES, F. L.; SANTOS, H. N. Problemas com uso de programação linear com posterior arredondamento da solução ótima, em regulação florestal. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 27, n. 5, p. 677–688, 2003.

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.

STEFANELLO, F.; MULLER, F. M.; ARAÚJO, O. C. B. DE A. Problema das p-Medianas Capacitado: Estudo Sobre a Resolução de Instâncias por Métodos Exatos. **IX SEPROSUL – Semana de Engenharia de Produção Sul-Americana**, Piriápolis, Uruguai. p. 1–9, 2009a.

STEFANELLO, F.; MÜLLER, F. M.; ARAÚJO, O. C. B. **Estudo sobre a Resolução do Problema das P-Medianas Capacitado**. 5 p. 2009b. Disponível em :<http://www-usr.inf.ufsm.br/~stefanello/publications/Estudo_sobre_a_Resolucao_do_Problema_das_P-Medianas_Capacitado_ERPOSul_2009.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2014.

TAHA, H. A. **Pesquisa operacional**. 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008. 359p.

TIMOFEICZYK JUNIOR, R.; GRAÇA, L. R.; BERGER, R.; SOUSA, R. A. T. M. E.; HOSOKAWA, R. T. Estrutura de custos do manejo de baixo impacto em florestas tropicais – Um estudo de caso. **Floresta**, Curitiba, PR, v.35, n. 1, 2005.

VAIDYA, O. S.; KUMAR, S. Analytic hierarchy process: An overview of applications. **European Journal of Operational Research**, v. 169, p. 1–29, 2006.

VIANA, V. Os caminhos para nossas florestas. **Folha de São Paulo**, São Paulo, Folha Opinião, p. 2, 2000.

APÊNDICE A — MODELAGEM MATEMÁTICA DO PROBLEMA DE *P-MEDIANAS*

O problema como já descrito ao longo do trabalho envolve a localização de p -medianas que servirão para atender a n clientes de forma a minimizar a soma das distâncias entre as medianas e clientes, realizando o atendimento de cada cliente por apenas uma mediana.

Neste exemplo denominaremos as medianas como pátios e os clientes como sendo árvores. Necessitamos realizar a locação de x pátios para atender n árvores, onde ocorrerá o arraste de cada árvore para o seu respectivo pátio minimizando a distância total de arraste por pátio eleito a ser instalado pelo modelo.

Variáveis de decisão:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se a árvore } j \text{ é atendida pelo pátio } i \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

$$y_i = \begin{cases} 1, & \text{se o pátio é aberto no local } i \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Índices

i, j : locais (pátio e árvore).

Parâmetros

d_{ij} : distância euclidiana, que liga o local i para o local j ;

y : número total de pátios a serem abertos.

Modelo

Função objetivo

$$\text{Minimizar: } \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n d_{ij} x_{ij}$$

A função objetivo minimiza a distância total de designação de árvores a pátios.

Restrições

$$\sum_{j=0}^n x_{ij} = 1 \quad \forall_j$$

Garantem que cada árvore j é atendido por um único pátio.

$$\sum_{j=0}^n Y_j = Y \quad \forall_j$$

Indica que exatamente Y pátios são abertas.

$$x_{ij} - Y_j \leq 0 \quad \forall_j$$

Asseguram que cada árvore j só pode ser designada a um pátio que esteja aberto no local i .

CONSTRUÇÃO DO MODELO

Suponhamos que em uma determinada área de manejo florestal exista n locais aptos a serem abertos pátios de estocagem de madeira e que os pátios abertos tenham que atender a x árvores de modo a minimizar a distância total de arraste. Sendo que cada árvore só possa ser arrastada para um pátio.

Tabela 1 – Distância euclidiana, volume de cada árvore.

	Árv.1	Árv.2	Árv.3	Árv.4	Árv.5	Árv.6	Árv.7	Árv.8	Árv.9
	Distâncias (m)								
Pátio1	10	0	9	8	7	6	11	12	3
Pátio2	13	8	4	0	18	12	10	3	9
Pátio3	10	7	9	18	0	9	5	6	19
Pátio4	5	11	12	10	5	13	0	10	16
Pátio5	7	12	13	3	6	4	10	0	11
Volume	5	3	8	10	9	11	5	4	7
Medianas =	2								

FUNÇÃO OBJETIVO

No modelo determinou-se que pátio seria p e árvore a , pelo fato de alguns programas não aceitarem mais que 8 dígitos em cada nome da variável.

Minimizar: $10X_{p1_a1} + 9X_{p1_a3} + 8X_{p1_a4} + 7X_{p1_a5} + 6X_{p1_a6} + 11X_{p1_a7} + 12X_{p1_a8} + 3X_{p1_a9} + 13X_{p2_a1} + 8X_{p2_a2} + 4X_{p2_a3} + 18X_{p2_a5} + 12X_{p2_a6} + 10X_{p2_a7} + 3X_{p2_a8} + 9X_{p2_a9} + 10X_{p3_a1} + 7X_{p3_a2} + 9X_{p3_a3} + 18X_{p3_a4} + 9X_{p3_a6} + 5X_{p3_a7} + 6X_{p3_a8} + 19X_{p3_a9} + 5X_{p4_a1} + 11X_{p4_a2} + 12X_{p4_a3} + 10X_{p4_a4} + 5X_{p4_a5} + 13X_{p4_a6} + 10X_{p4_a8} + 16X_{p4_a9} + 7X_{p5_a1} + 12X_{p5_a2} + 13X_{p5_a3} + 3X_{p5_a4} + 6X_{p5_a5} + 4X_{p5_a6} + 10X_{p5_a7} + 11X_{p5_a9}$

Sujeito a:

RESTRIÇÃO DE ROTA ÚNICA

$$\begin{aligned} X_{p1_a1} + X_{p2_a1} + X_{p3_a1} + X_{p4_a1} + X_{p5_a1} &= 1 \\ X_{p1_a2} + X_{p2_a2} + X_{p3_a2} + X_{p4_a2} + X_{p5_a2} &= 1 \\ X_{p1_a3} + X_{p2_a3} + X_{p3_a3} + X_{p4_a3} + X_{p5_a3} &= 1 \\ X_{p1_a4} + X_{p2_a4} + X_{p3_a4} + X_{p4_a4} + X_{p5_a4} &= 1 \\ X_{p1_a5} + X_{p2_a5} + X_{p3_a5} + X_{p4_a5} + X_{p5_a5} &= 1 \\ X_{p1_a6} + X_{p2_a6} + X_{p3_a6} + X_{p4_a6} + X_{p5_a6} &= 1 \\ X_{p1_a7} + X_{p2_a7} + X_{p3_a7} + X_{p4_a7} + X_{p5_a7} &= 1 \\ X_{p1_a8} + X_{p2_a8} + X_{p3_a8} + X_{p4_a8} + X_{p5_a8} &= 1 \\ X_{p1_a9} + X_{p2_a9} + X_{p3_a9} + X_{p4_a9} + X_{p5_a9} &= 1 \end{aligned}$$

RESTRIÇÃO DE NÚMERO TOTAL DE PÁTIOS

$$Y_{p1} + Y_{p2} + Y_{p3} + Y_{p4} + Y_{p5} = 2$$

RESTRIÇÃO DE LIGAÇÃO ÁRVORE-PÁTIO

$$\begin{aligned} X_{p1_a1} - Y_{p1} &\leq 0 \\ X_{p1_a2} - Y_{p1} &\leq 0 \\ X_{p1_a3} - Y_{p1} &\leq 0 \\ X_{p1_a4} - Y_{p1} &\leq 0 \\ X_{p1_a5} - Y_{p1} &\leq 0 \\ X_{p1_a6} - Y_{p1} &\leq 0 \\ X_{p1_a7} - Y_{p1} &\leq 0 \\ X_{p1_a8} - Y_{p1} &\leq 0 \\ X_{p1_a9} - Y_{p1} &\leq 0 \\ X_{p2_a1} - Y_{p2} &\leq 0 \\ X_{p2_a2} - Y_{p2} &\leq 0 \\ X_{p2_a3} - Y_{p2} &\leq 0 \\ X_{p2_a4} - Y_{p2} &\leq 0 \\ X_{p2_a5} - Y_{p2} &\leq 0 \\ X_{p2_a6} - Y_{p2} &\leq 0 \\ X_{p2_a7} - Y_{p2} &\leq 0 \\ X_{p2_a8} - Y_{p2} &\leq 0 \\ X_{p2_a9} - Y_{p2} &\leq 0 \\ X_{p3_a1} - Y_{p3} &\leq 0 \\ X_{p3_a2} - Y_{p3} &\leq 0 \\ X_{p3_a3} - Y_{p3} &\leq 0 \\ X_{p3_a4} - Y_{p3} &\leq 0 \\ X_{p3_a5} - Y_{p3} &\leq 0 \\ X_{p3_a6} - Y_{p3} &\leq 0 \end{aligned}$$

$X_{p3_a7} - Y_{p3} \leq 0$
 $X_{p3_a8} - Y_{p3} \leq 0$
 $X_{p3_a9} - Y_{p3} \leq 0$
 $X_{p4_a1} - Y_{p4} \leq 0$
 $X_{p4_a2} - Y_{p4} \leq 0$
 $X_{p4_a3} - Y_{p4} \leq 0$
 $X_{p4_a4} - Y_{p4} \leq 0$
 $X_{p4_a5} - Y_{p4} \leq 0$
 $X_{p4_a6} - Y_{p4} \leq 0$
 $X_{p4_a7} - Y_{p4} \leq 0$
 $X_{p4_a8} - Y_{p4} \leq 0$
 $X_{p4_a9} - Y_{p4} \leq 0$
 $X_{p5_a1} - Y_{p5} \leq 0$
 $X_{p5_a2} - Y_{p5} \leq 0$
 $X_{p5_a3} - Y_{p5} \leq 0$
 $X_{p5_a4} - Y_{p5} \leq 0$
 $X_{p5_a5} - Y_{p5} \leq 0$
 $X_{p5_a6} - Y_{p5} \leq 0$
 $X_{p5_a7} - Y_{p5} \leq 0$
 $X_{p5_a8} - Y_{p5} \leq 0$
 $X_{p5_a9} - Y_{p5} \leq 0$

Sendo x_{ij} e Y_j variáveis inteiras e binárias.

O resultado demonstrado no exemplo acima resultou na abertura de dois pátios com valor da função objetivo de 42 m.

O pátio 1 recebeu as árvores 2, 3 e 9; e o pátio 5 recebeu as árvores 1, 4, 5, 6, 7 e 8.

Desse modo, estabelece-se que o Pátio 1 receberá 19 m³ de madeira e o Pátio 5 receberá 44 m³ de madeira.

A tabela a seguir apresenta a locação das árvores em seus respectivos pátios.

Decisão	Distância
X_P1_A2	0
X_P1_A3	9
X_P1_A9	3
X_P5_A1	7
X_P5_A4	3
X_P5_A5	6
X_P5_A6	4
X_P5_A7	10
X_P5_A8	0

APÊNDICE B —TABELAS RESUMO DE ESTATÍSTICAS DOS PLANEJAMENTOS

Tabela 17 – Resultado das distâncias euclidianas do planejamento executado no projeto

Pátio	Soma Dist. (km)	Dist. Mínima (m)	Dist. Máxima (m)	Dist. Média (m)	V(m ³)	Nº de árvores
1	24,02	29,99	447,83	233,25	730,7170	103
2	2,15	72,09	265,39	153,90	108,7160	14
3	8,34	50,14	362,89	185,39	307,5860	45
4	14,61	51,56	462,91	202,96	491,2300	71
5	7,39	52,47	289,20	167,94	277,1430	44
6	17,11	78,17	358,51	203,70	582,1390	83
7	15,95	29,49	458,98	209,84	562,3150	76
8	8,04	51,42	596,41	211,60	263,1330	38
9	12,09	60,26	478,12	191,97	479,5910	63
10	10,80	55,65	376,59	192,78	440,1300	56
11	7,45	32,10	370,67	177,46	298,5570	42
12	4,03	43,80	294,47	201,69	186,0940	20
13	19,50	8,17	469,54	212,00	695,4290	91
14	7,40	24,80	367,75	164,44	398,3360	45
15	14,52	33,76	393,15	204,51	494,0240	71
16	4,53	29,95	285,93	156,17	164,8580	29
17	3,16	37,84	392,23	137,25	258,8030	23
18	13,15	52,44	389,76	219,22	482,7800	60
19	19,08	57,45	429,14	241,48	590,4070	79
20	13,27	0,00	390,22	204,11	486,0160	65
21	13,75	19,05	467,67	225,40	412,1880	61
22	18,23	46,08	476,39	264,20	450,1500	69
23	5,55	19,20	285,45	138,82	312,4220	40
24	9,09	11,54	339,06	211,41	310,9000	43
25	9,44	41,65	323,46	196,72	306,4240	47
26	7,13	38,42	425,96	169,69	256,7140	42
27	11,22	30,11	417,64	193,37	366,9350	58
Total	301,01	-	-	-	10.713,7	1.478
Média	-	39,17	393,16	195,23	-	-

Dist.: Distância, V: Volume.

Tabela 18 – Resultado das distâncias euclidianas do Cenário 1: modelo capacitado com restrição de distância

Área	Pátio	Soma Dist. (km)	Dist. Mínima (m)	Dist. Máxima (m)	Dist. Média. (m)	V (m ³)	Nº de árvores
1	1	8,2	40,7	343,1	186,8	310,7120	44
1	2	10,0	18,5	341,7	170,1	420,0050	59
2	3	1,2	44,9	214,2	122,9	93,0530	10
3	4	4,2	48,5	342,9	166,6	169,6640	25
3	5	8,6	22,0	341,2	165,6	343,8650	52
3	6	9,3	4,9	338,8	179,0	361,6630	52

Área	Pátio	Soma Dist. (km)	Dist. Mínima (m)	Dist. Máxima (m)	Dist. Média. (m)	V (m³)	Nº de árvores
3	7	11,8	11,3	337,9	194,0	455,6410	61
3	8	11,7	25,8	337,2	188,0	432,0330	62
3	9	13,4	46,5	319,0	183,7	481,7320	73
4	10	2,6	10,6	260,5	122,9	108,7840	21
4	11	5,8	60,9	339,1	165,5	251,1880	35
4	12	5,7	34,3	285,7	138,2	348,2070	41
5	13	5,0	21,6	273,0	162,5	185,1060	31
6	14	13,5	4,0	339,0	184,8	629,5340	73
6	15	14,2	9,0	338,4	203,5	492,3590	70
6	16	8,8	16,5	260,5	140,2	445,6480	63
7	17	6,6	30,2	304,9	154,4	242,4920	43
7	18	1,6	14,6	296,0	113,8	151,5910	14
7	19	6,3	5,0	317,6	173,7	270,9830	36
7	20	3,0	24,4	313,0	115,6	271,6840	26
8	21	5,6	16,2	295,2	114,7	381,1840	49
8	22	6,8	36,2	325,2	165,1	329,2830	41
8	23	9,8	4,2	322,4	164,0	453,9820	60
8	24	9,7	52,1	286,5	178,7	409,3410	54
9	25	3,1	42,4	270,0	140,5	253,1710	22
10	26	5,5	18,2	240,9	130,3	328,1810	42
10	27	6,2	39,9	269,4	155,4	278,2640	40
10	28	6,1	29,4	337,5	164,7	229,6520	37
10	29	6,0	9,0	282,5	161,6	241,2050	37
11	30	10,0	23,3	339,0	196,9	321,2390	51
11	31	8,7	16,3	342,3	170,9	320,6370	51
11	32	13,1	53,7	338,2	207,3	415,8500	63
11	33	8,3	39,2	342,0	206,4	285,8040	40
Total		250,4	-	-	-	10.713,7	1.478
Média		-	26,5	310,1	163,3	-	-

Dist.: Distância, **V:** Volume.

Tabela 19 – Resultado das distâncias euclidianas do cenário 2: modelo capacitado sem restrição de distância

Área	Pátio	Soma Dist.(km)	Dist. Mínima (m)	Dist. Máxima (m)	Dist. Média. (m)	V (m³)	Nº de árvores
1	1	6,71	15,15	273,45	172,00	297.5750	39
1	2	11,32	2,52	358,46	176,81	433.1420	64
2	3	1,23	44,93	214,16	122,93	93.0530	10
3	4	19,78	33,90	469,80	229,97	564.3630	86
3	5	16,48	4,50	358,70	198,53	564.3710	83
3	6	15,63	53,40	314,70	190,58	562.8480	82
3	7	14,46	11,80	457,50	195,45	553.0160	74
4	8	10,28	17,83	454,87	190,45	346.3090	54
4	9	6,14	50,88	285,95	142,84	361.8700	43
5	10	5,04	21,63	273,02	162,53	185.1060	31
6	11	14,58	41,65	394,27	189,31	656.2320	77
6	12	13,16	16,82	343,45	196,37	471.8260	67
6	13	8,58	16,48	260,48	138,45	439.4830	62

Área	Pátio	Soma Dist.(km)	Dist. Mínima (m)	Dist. Máxima (m)	Dist. Média. (m)	V (m³)	Nº de árvores
7	14	18,66	22,22	541,53	252,18	543.3480	74
7	15	7,79	18,08	488,47	173,20	393.4020	45
8	16	13,18	34,00	408,02	178,09	592.2450	74
8	17	11,31	20,58	358,99	191,74	457.5270	59
8	18	12,80	18,42	372,12	180,32	524.0180	71
9	19	2,63	36,63	325,00	119,35	253.1710	22
10	20	14,57	30,61	455,73	235,07	402.2890	62
10	21	22,72	36,72	459,23	241,67	675.0130	94
11	22	23,61	30,15	455,76	253,90	647.9500	93
11	23	28,64	14,26	505,60	255,75	695.5800	112
Total		299,31	-	-	-	10.713,7	1.478
Média		-	25,8	383,9	190,8	-	-

Dist.: Distância; V: volume.

Tabela 20 – Resultado das distâncias euclidianas do cenário 3: modelo não capacitado com restrição de distância

Área	Pátio	Soma Dist. (km)	Dist. Mínima (m)	Dist. Máxima (m)	Dist. Média. (m)	V(m³)	Nº de árvores
1	1	8,22	40,70	343,08	186,79	310.7120	44
1	2	10,04	18,53	341,66	170,14	420.0050	59
2	3	1,23	44,93	214,16	122,93	93.0530	10
3	4	4,16	48,50	342,90	166,56	169.6640	25
3	5	8,61	22,00	341,20	165,59	343.8650	52
3	6	9,31	4,90	338,80	179,02	361.6630	52
3	7	11,84	11,30	337,90	194,04	455.6410	61
3	8	11,66	25,80	337,20	188,04	432.0330	62
3	9	13,41	46,50	319,00	183,71	481.7320	73
4	10	2,58	10,60	260,52	122,89	108.7840	21
4	11	5,79	60,89	339,09	165,50	251.1880	35
4	12	5,67	34,31	285,67	138,18	348.2070	41
5	13	5,04	21,63	273,02	162,53	185.1060	31
6	14	13,49	4,04	338,96	184,77	629.5340	73
6	15	14,25	9,05	338,44	203,55	492.3590	70
6	16	8,83	16,48	260,48	140,24	445.6480	63
7	17	6,64	30,15	304,89	154,37	242.4920	43
7	18	1,59	14,60	296,01	113,76	151.5910	14
7	19	6,25	5,04	317,60	173,72	270.9830	36
7	20	3,00	24,44	312,99	115,56	271.6840	26
8	21	15,79	58,25	326,72	194,95	643.7930	81
8	22	10,55	16,46	333,72	167,47	475.2300	63
8	23	11,53	17,00	338,99	192,12	454.7670	60
9	24	2,63	36,63	325,00	119,35	253.1710	22
10	25	5,47	18,21	240,89	130,34	328.1810	42
10	26	6,22	39,90	269,39	155,39	278.2640	40
10	27	6,10	29,37	337,49	164,73	229.6520	37
10	28	5,98	9,04	282,47	161,63	241.2050	37
11	29	10,04	23,32	339,00	196,86	321.2390	51
11	30	8,72	16,33	342,31	170,94	320.6370	51
11	31	13,06	53,70	338,23	207,29	415.8500	63
11	32	8,26	39,20	342,00	206,43	285.8040	40

Área	Pátio	Soma Dist. (km)	Dist. Mínima (m)	Dist. Máxima (m)	Dist. Média. (m)	V(m ³)	Nº de árvores
	Total	255,95	-	-	-	10.713,7	1.478
	Média	-	26,62	314,37	165,61	-	-

Dist.: Distância; **V:** volume.

Tabela 21 – Resultado das distâncias euclidianas do cenário 4: modelo não capacitado sem restrição de distância

Área	Pátio	Soma Dist. (km)	Dist. Mínima (m)	Dist. Máxima (m)	Dist. Média. (m)	V (m ³)	Nº de árvores
1	1	23,18	3,41	468,07	225,05	730.7170	103
2	2	1,23	44,93	214,16	122,93	93.0530	10
3	3	9,92	34,50	301,80	168,14	356.7080	59
3	4	8,25	27,00	365,60	187,55	291.9100	44
3	5	14,98	4,50	358,70	192,06	537.5900	78
3	6	12,82	29,20	309,00	180,57	513.6620	71
3	7	14,19	11,80	457,50	194,41	544.7280	73
4	8	10,28	17,83	454,87	190,45	346.3090	54
4	9	6,14	50,88	285,95	142,84	361.8700	43
5	10	5,04	21,63	273,02	162,53	185.1060	31
6	11	14,58	41,6	394,3	189,3	656.2320	77
6	12	13,16	16,8	343,4	196,4	471.8260	67
6	13	8,58	16,5	260,5	138,5	439.4830	62
7	14	12,37	25,12	434,60	206,20	391.7570	60
7	15	1,59	14,60	296,01	113,76	151.5910	14
7	16	7,79	18,08	488,47	173,20	393.4020	45
8	17	13,18	34,00	408,02	178,09	592.2450	74
8	18	11,31	20,58	358,99	191,74	457.5270	59
8	19	12,80	18,42	372,12	180,32	524.0180	71
9	20	2,63	36,63	325,00	119,35	253.1710	22
10	21	33,16	223,52	649,34	454,29	486.4950	73
10	22	5,39	53,29	326,88	149,78	276.3720	36
10	23	9,98	63,31	436,38	212,29	314.4350	47
11	24	9,86	13,59	350,11	170,01	366.8300	58
11	25	6,61	18,71	305,18	150,33	314.1180	44
11	26	6,19	63,17	312,71	176,88	209.2690	35
11	27	15,19	33,45	394,19	223,33	453.3130	68
	Total	290,42	-	-	-	10.713,7	1.478
	Média	-	35,45	368,33	184,82	-	-

Dist.: Distância, **V:** Volume.