UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, NATURAIS E DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO

JOSIMAR DE MORAES MISTURA

APLICAÇÃO DA META-HEURÍSTICA ITERATED LOCAL SEARCH AO PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE PÁTIOS FLORESTAIS

ALEGRE
2017

JOSIMAR DE MORAES MISTURA

APLICAÇÃO DA META-HEURÍSTICA ITERATED LOCAL SEARCH AO PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE PÁTIOS FLORESTAIS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Computação do Centro de Ciências Exatas, Naturais e da Saúde da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Sistemas de Informação.

Orientador: Prof. M.Sc. Rodrigo Freitas da Silva.

ALEGRE

2017

JOSIMAR DE MORAES MISTURA

APLICAÇÃO DA META-HEURÍSTICA ITERATED LOCAL SEARCH AO PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE PÁTIOS FLORESTAIS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Computação do Centro De Ciências Exatas, Naturais E da Saúde da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Sistemas de Informação.

Aprovado em 14 de dezembro de 2017.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. M.Sc. Rodrigo Freitas da Silva
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

Prof. M.Sc. Valeria Alves da Silva
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof. M.Sc. Dayan de Castro Bissoli
Universidade Federal do Espírito Santo

“O sucesso nada mais é que ir de fracasso em fracasso sem que se perca o entusiasmo.”

Winston Churchill

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo da minha vida, e não somente nestes anos como universitário, mas que em todos os momentos é o maior mestre que alguém pode conhecer.

Agradeço a minha mãe Monserrate de Moraes Mistura heroína que me deu apoio, incentivo nas horas difíceis, de desânimo e cansaço.

Ao meu pai Antônio Bento Mistura que apesar de todas as dificuldades me fortaleceu e que para mim foi muito importante.

Aos meus irmãos Jefferson, Jardel e Josias, sempre esteve presente em todos os momentos, sendo além de irmão um grande amigo.

Aos meus grandes amigos, que na verdade são considerados irmãos principalmente Wagner que sempre esteve do meu lado, quando precisei, e também dos meus amigos João Vitor, Denis, Rodrigo, Diego, Robson e todos os amigos da faculdade.

Ao professor Rodrigo Freitas da Silva pela orientação, apoio e confiança.

A esta universidade, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram a janela que hoje vislumbro um horizonte superior, eivado pela acendrada confiança no mérito e ética aqui presentes.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

As florestas tropicais possuem uma grande diversidade de espécies de madeira com um alto valor comercial, com isso a atividade de retirada desse recurso florestal é intensa. Além disso, durante a exploração florestal a operação de extração é uma das atividades que ocasiona mais gastos. A introdução do manejo florestal de precisão possibilitou ao manejo de florestas nativas um ganho significativo no planejamento das atividades de exploração. 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. Para resolver o Problema de Alocação de Pátios Florestais (PAPF), em que consiste em agrupar árvores para a formação de Unidades de Produção Anual (UPAs) minimizando as distâncias delas até o pátio central, foi utilizado a meta heurística *Iterated Local Search* (ILS) para a resolução do problema, onde o método também foi capaz de regular a floresta, ou seja, de garantir uma produção anual constante de madeira. Por fim, conclui-se que a utilização da meta-heurística ILS para a resolução do problema de alocação de pátios obteve bons resultados com um baixo tempo de execução comparados ao Algoritmo Guloso proposto por Silva(2015a).

Palavras-chave: *Iterated Local Search*; Problema de Alocação de Pátios Florestais; UPAs.

ABSTRACT

The tropical forests have a great diversity of species of wood with a high commercial value, with that the activity of withdrawal of this forest resource is intense. In addition, during logging the extraction operation is one of the activities that causes the most expenses. The introduction of precision forestry management allowed the management of native forests a significant gain in the planning of exploration activities. There are still some gaps that must be improved, among them, the allocation of storage yards, which until then has been carried out arbitrarily in planning, guided by the radius of coverage and modeling of relief in a computational environment. To solve the Problem of Allocation of Forest Patios (PAPF) in which it consists of grouping trees for the formation of Annual Production Units (PAUs) minimizing the distances between them, where the method must also be able to regulate the forest, that is, Ensure constant annual production of wood. The use of the Iterated Local Search (ILS) metaheuristic to solve the problem, and when compared to the CPLEX software, ILS obtained good results with a low execution time.

Keywords: Iterated Local Search; Problem of Allocation of Forest Patios; Upas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação da solução do modelo de p-mediana.....13
Figura 2 - Pseudocódigo ILS.....24
Figura 3 - Exemplo de Máximo e Mínimos. 25
Figura 4 - Área de Estudo 27
Figura 5 - Representação Latitude e Longitude de Cada árvore.....28
Figura 6 - Representação de um solução com 4 pátios 29
Figura 7 - Representação de uma solução antes da troca movimento TAEPS.....31
Figura 8 - Representação de uma solução após o movimento TAEPS.....32
Figura 9 - Solução antes do movimento Troca do Pátio Central 33
Figura 10 - Solução após do movimento Troca do Pátio Central 34
Figura 11 - Implementação ILS 35
Figura 12 - melhores FOs Algoritmo Guloso e ILS.....40
Figura 13 - Medias das FOs Algoritmo Guloso e ILS 40
Figura 14 - Comparação de tempo das melhores FOs Algoritmo Guloso e ILS.....41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados obtidos na execução do algoritmo ILS.....37
Tabela 2 – Resultados obtidos na execução do Algoritmo Guloso 38
Tabela 3 – Comparação dos resultados do ILS com Algoritmo Guloso 39

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 11

1.1 O PROBLEMA E SUA IMPORTÂNCIA 13

1.1.1 Problemas de Localização-Alocação 14

1.2 OBJETIVOS 15

1.2.1 Objetivo geral 15

1.2.2 Objetivos específicos 15

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO 15

2 REVISÃO DA LITERATURA 16

2.1 MANEJO FLORESTAL 16

2.2 TRABALHOS RELACIONADOS 16

2.3 PROGRAMAÇÂO MATEMÁTICA 19

2.3.1 Problema P-Medianas 20

2.3.2 Problema das p-medianas adaptado ao Problema de Alocação de Pátios Florestais (PAPF) 21

2.4 META-HEURÍSTICA ILS 23

2.4.1 Pseudocódigo do ILS 24

2.5 DADOS UTILIZADOS 26

3 METODOLOGIA 28

3.1 REPRESENTAÇÃO DE UMA SOLUÇÃO 28

3.2 ESTRUTURAS DE VIZINHANÇA 29

3.2.2 Troca do Pátio Central 32

3.3 ADAPTAÇÃO DA META-HEURÍSTICA ILS 34

3.3.1 Principais Componentes do ILS 35

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 37

5 CONCLUSÕES 42

6 REFERÊNCIAS 43

1 INTRODUÇÃO

A floresta amazônica na década de 60 recebeu incentivos do governo brasileiro para a sua ocupação, fato ocorrido durante a ditadura militar. A partir desse programa chamado de "Integrar para não Entregar", as florestas passaram a sofrer com a ação do homem, culminando em altas taxas de desmatamento pelos novos colonizadores. No ano de 1988, por meio do Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE), iniciou-se um programa de monitoramento das florestas brasileiras, no qual se constatou um total de 396.857 hectares de área desmatada na amazônica brasileira (INPE, 2016).

Historicamente, pesquisas sobre o potencial produtivo das espécies, taxas de crescimento, nível de intervenção/exploração de madeira vêm sendo desenvolvidas na região amazônica, justamente para preencher essa lacuna e dar subsidio à consolidação de uma legislação acerca do tema. O instrumento mais indicado para garantir que uma área seja sustentada é o uso de técnicas e métodos ligados ao manejo florestal. Segundo IBAMA (2016), o gerenciamento da floresta proporciona melhores retornos econômicos e desenvolvimento social, aliando ainda a preservação do ecossistema. A falta de planejamento na atividade de exploração florestal, ocasiona uma maior degradação das árvores remanescentes, reduzindo o valor comercial da floresta no futuro. Logo, é possível o emprego de diversos métodos ligados à pesquisa operacional para a redução de danos ao meio ambiente e também priorizando técnicas de exploração de impacto reduzido, avaliações da dinâmica florestal e do potencial madeireiro e redução de custos da exploração (Junior et al, 2014).

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 (SILVA, 2015b).

A utilização das ferramentas de pesquisa operacional na área do manejo florestal já é uma realidade viável, pelo avanço das tecnologias de informação. 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 (STÜTZLE, 1998).

O Problema de Alocação de Pátios Florestais (PAPF) consiste em agrupar árvores para a formação de Unidades de Produção Anual (UPAs) minimizando as distâncias das arvores até o pátio central. O problema também consiste em regular uma floresta desbalanceada ao longo do tempo, controlando as complexas restrições de atendimento da demanda de madeira, percentual mínimo de madeira certificada e limites de transferência entre unidades florestais, com o intuito de garantir uma produção anual constante de madeira. A resolução do PAPF está relacionado ao estudo de localização-alocação, que proporciona o problema de localização, tendo uma relevância considerável pela sua vasta possibilidade de aplicação. Para a resolução do problema baseia-se no problema de p-medianas, proposta inicialmente por Hakimi (1964) para uma única mediana, em seguida generalizado para múltiplas medianas, propondo um simples processo de enumeração para o problema e também considerado como NP-difícil (Garey e Johnson, 1979). 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 1).

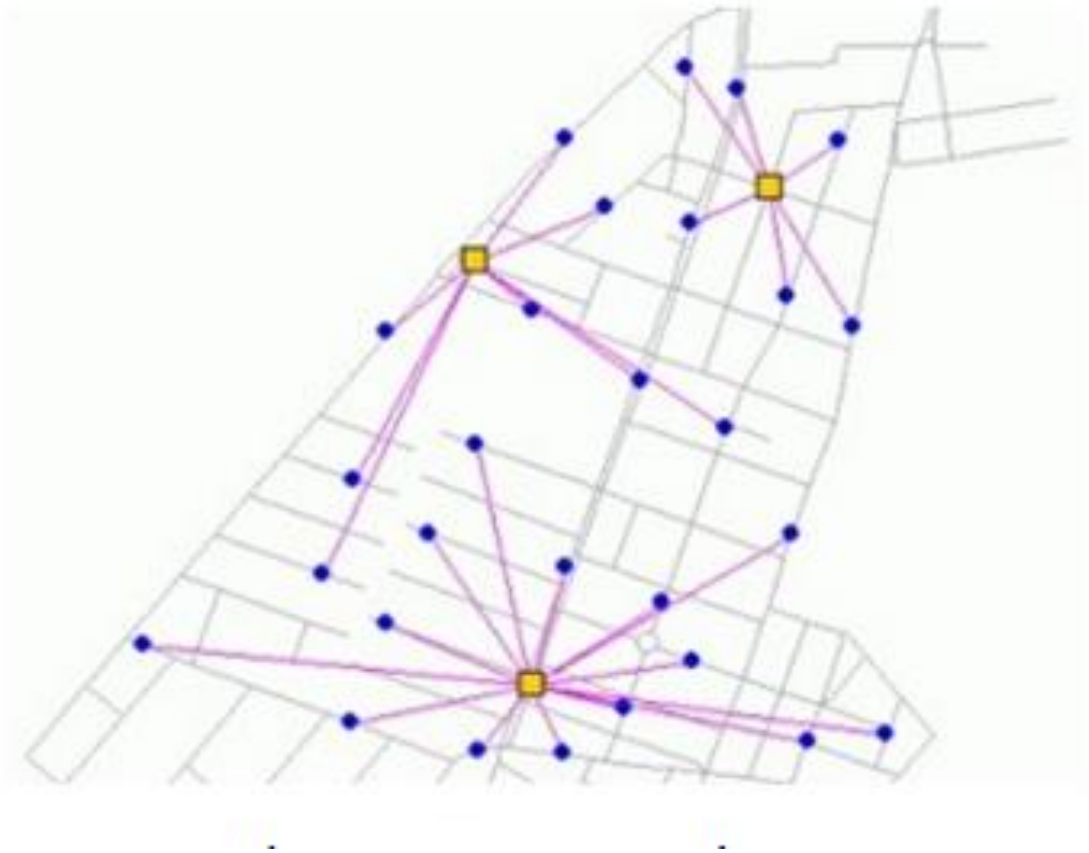

Figura 1 - Representação da solução do modelo de p-mediana
Fonte: Hakimi (1964).

Atualmente, já são utilizados modelos matemáticos de programação linear no auxílio ao planejamento operacional, em florestas tropicais. A utilização de modelos matemáticos vem para auxiliar na tomada de decisão, uma vez que a exploração madeireira é importante economicamente.

1.1 O PROBLEMA E SUA IMPORTÂNCIA

Dentre as diversas atividades que envolvem um empreendimento florestal, as que auxiliam na fase de planejamento necessitam de uma contínua busca por melhorias. A atividade de exploração do manejo florestal é considerada uma das mais importantes por se tratar de uma atividade primária no processo de tomada de decisão. Nessa atividade, os dados são coletados nas florestas periodicamente, com o objetivo de avaliar o desenvolvimento da população florestal e auxiliar no planejamento e manejo da produção.

Durante a definição das estratégias de gerenciamento da floresta são definidas as Unidades de Produção Anual (UPAs). Nessa unidade é feito o planejamento de execução do manejo florestal para o período de um ano onde é dividida em áreas anualmente exploráveis, as UPAs, de forma a facilitar a execução da exploração florestal. As UPAs, por sua vez, são também divididas em Unidades de Trabalho (UTs), onde é uma unidade física que compõe uma determinada UPA. Depois da formação das Upas, são alocados os pátios de estocagem que são áreas abertas as quais são destinadas ao armazenamento de madeira retirados das florestas (SILVA, 2015a).

1.1.1 Problemas de Localização-Alocação

Entre os problemas resolvidos por programação linear pode-se citar o de localização-alocação, onde o objetivo é procurar o lugar ideal para se fazer a instalação de tal modo a minimizar distância entre as instalações e seus clientes. Um modelo clássico de locação e alocação e o modelo de p-medianas, que busca minimizar as distancias entre os clientes e as instalações (MATINHAGO, 2012), Muitos trabalhos já se utilizaram da formulação do problema das p-medianas, como por exemplo PIZZOLATO (1997) na localização de escolas públicas. Na área florestal, o estudo de alocação de pátios já foi abordado anteriormente por MARTINHAGO (2012), SILVA (2015a) e SILVA (2015b) em estudo feitos no Brasil.

Os modelos de localização já são foco de estudos há várias décadas, sendo um dos assuntos que a cada dia recebe novo enfoque ou abordagem diferente. Isso se deve ao fato de cada vez mais as empresas estarem preocupadas com a melhoria do atendimento, seja pela disponibilização dos recursos no momento necessário, seja pela minimização dos custos envolvidos. as decisões de localização geraram grande interesse para a comunidade de pesquisa operacional, por apresentarem as seguintes características tais como, os níveis de organização humana, desde indivíduos até empresas, públicas ou privadas e agências internacionais, as decisões de localização são geralmente de caráter estratégico, o que envolve grandes recursos de capital, e seus efeitos na economia são de longo prazo. Na área privada, foco do trabalho, implicam a habilidade da empresa de competir no mercado, essas decisões implicam fatores econômicos como poluição, congestionamentos, desenvolvimento econômico, entre outros.

1.2 OBJETIVOS

A seguir são descritos os objetivos gerais e específicos relacionados a este trabalho.

1.2.1 **Objetivo geral**

O objetivo deste trabalho foi desenvolver e testar a meta-heurística *Iterated Local Search* (ILS) a fim de agrupar árvores para a formação das UPAs, minimizando as distâncias entre elas. O problema de pesquisa consiste na formação das Unidades de Produção Anual (UPAs), obtidas a partir da clusterização da área explorada tanto em floresta nativas quanto para florestas plantadas, levando também em consideração a regulação da floresta por volume e renda, que consiste em uma produção constante de madeira. Os dados referente a instância utilizada foram extraídos de florestas nativas.

1.2.2 **Objetivos específicos**

a) Desenvolver e Implementar a estrutura para representar o Problema de Alocação de Pátios Florestais(PAPF);
b) Implementar a meta-heurística *Iterated Local Search* (ILS);
c) Avaliar o desempenho da meta-heurística ILS, comparando os resultados com os obtidos do Algoritmo Guloso desenvolvido por (SILVA, 2015a);

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O restante deste trabalho está dividido como segue. No Capítulo 2 é apresentada uma revisão bibliográfica dos principais e mais recentes trabalhos da literatura. O Capítulo 3 detalha a metodologia utilizada. Os resultados obtidos são descritos no Capítulo 4, as conclusões são apresentadas no Capítulo 5, e no Capítulo 6 são listadas as referências.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 MANEJO FLORESTAL

O manejo florestal busca reduzir os impactos da exploração e assegurar a sustentabilidade da produção florestal por meio do planejamento da colheita e do monitoramento do crescimento da floresta. A gestão destas atividades carece de ferramentas computacionais que auxiliem os técnicos florestais na tarefa de redução dos custos. Em muitos casos, máquinas de elevado investimento são utilizadas na colheita de madeira sem um planejamento adequado da operação, consequentemente, o custo por hora dessas máquinas, que é elevado, poderia ser reduzido, caso fossem utilizados recursos tecnológicos como por exemplo a utilização de fermentas computacionais com por exemplo a utilização de programação linear (INPE, 2016).

O manejo se baseia nos princípios de distúrbios naturais, que estão ligados à dinâmica de mosaicos de florestas secundárias, de forma que as florestas manejadas devem seguir uma evolução semelhante às florestas originais. O manejo florestal sustentável tem como princípios gerais: i) a conservação dos recursos naturais, ii) a preservação da floresta e de suas funções, iii) a manutenção da diversidade biológica e, iv) o desenvolvimento socioeconômico da região, abrangendo assim o tripé da sustentabilidade (IBAMA, 2016).

2.2 TRABALHOS RELACIONADOS

Constam na literatura diversos trabalhos relacionados ao problema de alocação de pátios e seus derivados. A seguir, é apresentada uma revisão bibliográfica e algumas abordagens utilizadas em alguns dos principais trabalhos realizados em relação a esse problema.

Braz, Carnieri e Arce (2004) apresentaram um modelo matemático que auxilia no planejamento e distribuição dos talhões em uma pequena propriedade de floresta tropical. O modelo matemático resultou em um novo conceito de talhão e garantiu o equilíbrio do rendimento anual para o pequeno proprietário.

Uma metodologia foi apresentada por Silva et al. (2006) para o problema de planejamento florestal, para isso, foi considerado um problema de planejamento

florestal apresentado em literatura, este problema foi formulado de acordo como modelo de Programação Linear clássica, ao qual, uma vez formulado o modelo, aplicou-se o método das restrições para se buscar atender a múltiplos objetivos do planejamento florestal. Entre os objetivos considerados avaliaram-se a maximização do lucro, a minimização dos desvios de demanda ao longo do horizonte de planejamento e a maximização do uso de mão-de-obra. Ao final, após implementação do método das restrições, concluiu-se que a tomada de decisão por meios de modelos multiobjetivos oferecem um padrão superior aos modelos tradicionais de programação linear (PL), tendo em vista diversas metas onde obteve uma serie maior de respostas para o problema de planejamento apresentado.

Moreira e Rodrigues (2010) propôs a utilização do método razaoR, desenvolvido para a solução de problemas de planejamento florestal formulados integralmente com variáveis binárias. O método incorpora restrições espaciais de conectividade entre os fragmentos de vegetação nativa adjacentes às florestas de produção. O déficit de conectividade das soluções foi avaliado a partir de um algoritmo recursivo baseado na Teoria de Grafos e em técnicas de programação dinâmica. Como estudo de caso, utilizou-se uma fazenda de uma empresa de celulose do estado de São Paulo. A heurística foi eficaz e eficiente no número de iterações necessárias para encontrar medidas viáveis para o problema.

Araújo e Souza (2010) desenvolveu um algoritmo heurístico baseado na meta-heurística *Iterated Local Search* (ILS) onde tratou o problema de planejamento operacional de lavouras considerando alocação dinâmica de caminhões. O algoritmo ILS proposto foi testado em um cenário relativo a um problema real de uma mineração de ferro, comparando-se as soluções produzidas por ele com aquelas geradas por um otimizador aplicado a um modelo de programação matemática desenvolvido.

Martinhago (2012) propôs uma nova abordagem para o problema de locação de pátios de estocagem com utilização de uma meta-heurística hibrida, combinando um sistema de informação geográfico junto com meta-heurística Simulated Annealing (SA), para auxiliar no planejamento de melhorias locais, para a criação de pátios de estocagem de uma área de floresta natural, onde obteve grande sucesso com a meta heurística que apresentou excelentes resultados, em alguns casos obteve resultados

iguais ao ótimo da programação linear inteira, com a vantagem de um tempo bem menor de processamento.

Silva (2015c) desenvolveu um modelo matemático de programação linear inteira (PLI), de forma a minimizar a distância de arraste entre as árvores exploradas e os pátios de estocagem, garantindo o balanceamento da estrutura da floresta. Os dados provêm do inventário florestal realizado em uma Floresta tropical densa na Amazônia Ocidental. O modelo de PLI desenvolvido teve o modelo das p-medianas como base, ao qual se incorporaram restrições de corte seletivo por classe de diâmetro e espécie. Além disso, foram utilizados oito tipos de restrições técnicas, gerando, ao todo, 64 combinações de modelos de PLI (cenários). Os resultados demonstram que a *Dipteryx odorata* foi a espécie mais abundante e dominante na floresta. A remoção via corte seletivo explorou, em média, 2,05 árvores/ha. Apenas 36 cenários apresentaram soluções factíveis, sendo 13 infactíveis e 15 sem solução viável após 24 horas de processamento. Concluiu-se que o modelo desenvolvido apresenta potencial na geração de cenários de exploração florestal, mostrando-se essencial no auxílio à tomada de decisão pelos gestores florestais.

Um algoritmo heurístico foi proposto por Silva et al. (2015a) para agrupamento de árvores para a formação de UPAs. A floresta foi regularizada por volume e renda onde foram obtidos dados de manejo florestal localizado em Rio Branco no estado do Acre em uma área total explorável de 382,09 hectare. Foram explorado 1.225 indivíduos, com um volume total de 8.704, 7554m³ e renda bruta total estimada em R$390.371,92 pelo Guia Florestal do Estado do Mato Grosso. Foi apresentado uma heurística gulosa para a resolução do problema onde o planejamento florestal foi executado de modo a estruturar 4 UPAs, flexibilizando em até 5% o volume e renda de cada estrutura, na qual o algoritmo foi viável aos objetivos proposto para resolução do problema sugerido.

Silva (2015b), obteve grande sucesso com a implementação de um método matemático para a resolução do problema, foi desenvolvido em uma área de 638,1783ha, onde foram alocados 1.478 pátios de estocagem exploráveis, regido por restrição de distância e volume máximo estocado onde foi avaliado o resultado de quatro áreas através das distancias euclidianas onde obteve resultados próximos na sua execução comparados ao trabalho de Martinhago (2012).

Tavares (2016) utilizou um modelo de Programação linear (PL), na alocação ótima de pátios de estocagem temporários em condições de manejo de florestas nativas, afim de minimizar as distancias de arraste. A área de estudo foi a Unidade de Produção Anual 04 (UPA04), localizada na Unidade de Manejo Florestal III (UMF-III), na porção sudoeste da Flona do Jamari, no estado de Rondônia. Os resultados demonstraram que com o uso de ferramentas de programação linear, foi possível reduzir as distancias euclidianas entre os pátios de estocagem dentro da floresta e as respectivas árvores. Além disso, houve uma redução da soma das distancias euclidianas de 101 km para o cenário 1, 66 km para o cenário 2 e 53 km para o cenário 3. O cenário 2 foi o que se destacou como uma boa opção, pois auxilia a definir o número máximo de pátios, pois além de reduzir as distancias entre árvore- pátios, apresentou uma boa distribuição do volume de estocagem e um menor número de instalações.

2.3 PROGRAMAÇÂO MATEMÁTICA

A Pesquisa Operacional surgiu durante a Segunda Guerra Mundial, a partir da necessidade de lidar com problemas de natureza logística, tática e de estratégia militar de grandes dimensões e complexidade. Para apoiar os comandos operacionais na resolução desses problemas, foram então criados grupos multidisciplinares de matemáticos, físicos, engenheiros e cientistas sociais. Esses cientistas não fizeram mais do que aplicar o método científico, que tão bem conheciam, aos problemas que lhes foram sendo colocados. Desenvolveram, então, a ideia de criar modelos matemáticos, apoiados em dados e fatos, que lhes permitissem perceber os problemas em estudo e simular e avaliar o resultado hipotético de estratégias ou decisões alternativas (IMPE, 2016)

A resolução do Problema de Alocação de Pátios Florestais (PAPF) está relacionado ao estudo de localização-alocação, que proporciona o problema de localização, tendo uma relevância considerável pela sua vasta possibilidade de aplicação. Para a resolução do problema é utilizado o problema de p-medianas adaptado ao problema de alocação de pátios.

2.3.1 Problema P-Medianas

O problema das p-medianas pode ser formulado como um problema de programação inteira binária. Dado um grafo descrevendo uma dada instância, obtida através da aplicação do algoritmo de Floyd (BEASLEY, 1993) e um conjunto resultante de vértices N = {1, ..., n}. 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 aberta de acordo com critério específico.

c. Variável de decisão

xij: 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.

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

d. Função objetivo:

$$Min \sum_{i=0}^{n} \sum_{j=0}^{n} D_{ij} X_{ij} \qquad (Equação\ 1)$$

d. Restrições:

$$\sum_{j=0}^{n} Xij = 1 \qquad \forall j \quad j = 1..n \qquad (Equação\ 2)$$

$$\sum_{j=0}^{n} Yj = p \qquad (Equação\ 3)$$

$$x_{ij} - Y_j \leq 0 \qquad \forall j \qquad (Equação\ 4)$$

A equação 1 tem a função de minimizar o somatório das distâncias euclidianas entre cada instalação e todos os clientes ligados a ela. A Restrição 2, de ligação única, garante que cada cliente será atendido por apenas uma instalação; A restrição 3 tem a função de estabelecer que o número de instalação *p* seja respeitada; Por fim, a equação 4 garante que cada cliente seja ligado apenas a instalação aberta.

2.3.2 Problema das p-medianas adaptado ao Problema de Alocação de Pátios Florestais (PAPF)

A formulação matemática do problema de Alocação de Pátios Florestais é uma variação do problema p-medianas com adição de quatro restrições referente a flexibilidade de volume e flexibilidade de renda, como apresentando a seguir:

Função objetivo:

Minimizar:

$$\sum_{i=0}^{n}\sum_{j=0}^{n} D_{ij}X_{ij} \qquad (Equação\ 5)$$

Sujeito à:

$$\sum_{i=0}^{n} X_{ij} = 1 \qquad \forall j \qquad j = 1..n \qquad (Equação\ 6)$$

$$\sum_{j=0}^{n} Y_j = P \qquad \forall j \qquad (Equação\ 7)$$

$$x_{ij} - Y_j \leq 0 \qquad \forall j \qquad j = 1..n \qquad (Equação\ 8)$$

$$\sum_{i=0}^{n} V_i X_{ij} \leq \frac{V}{P}(1 + I_v) \qquad (Equação\ 9)$$

$$\sum_{i=0}^{n} V_i X_{ij} \geq \frac{V}{P}(1 - I_v) \qquad (Equação\ 10)$$

$$\sum_{i=0}^{n} R_i X_{ij} \leq \frac{R}{P}(1 + I_r) \qquad (Equação\ 11)$$

$$\sum_{i=0}^{n} R_i X_{ij} \geq \frac{R}{P}(1 - I_r) \qquad (Equação\ 12)$$

$$X_{ij}, Y_j \in \{0,1\} \qquad \forall j \quad i,j = 1..n \quad (Equação\ 13)$$

Em que $\boldsymbol{i}$ é a i-ésima árvore; $\boldsymbol{j}$ é a j-ésima árvore centro da UPA; $\boldsymbol{D_{ij}}$ é a distância euclidiana da árvore $\boldsymbol{i}$ para a árvore $\boldsymbol{j}$ centro da UPA; $\boldsymbol{P}$ é o número total de UPAs a serem formadas; $\boldsymbol{X_{ij}}$ é uma variável binária, que assume o valor 1 se a árvore $\boldsymbol{i}$ é ligada à árvore $\boldsymbol{j}$ centro da UPA, caso contrário, assume o valor 0; $\boldsymbol{Y}$ é uma variável binária, que assume o valor 1 se a árvore $\boldsymbol{j}$ é a árvore centro da UPA, caso contrário, assume o valor 0; V_i é o volume da i-ésima árvore; V é o volume total das árvores selecionadas; I_v é a taxa de variação permitida para volume; I_r é a taxa de variação permitida para renda.

Função objetivo

A função objetivo (Equação 5) busca minimizar o somatório das distâncias euclidianas entre cada árvore i e a árvore j centro de cada UPA.

Restrições

a) Restrição de rota única (Equação 6): Garante que cada árvore i seja ligada apenas à uma árvore j centro de cada UPA, ou seja, cada árvore irá pertencer exclusivamente a uma única UPA.

b) Restrição de número de UPAs (Equação 7): Estabelece o número de UPAs (P) a serem formadas.

c) Restrição de ligação árvore-árvore central (Equação 8): Garante a ligação única, ou seja, impõe que cada árvore i seja ligada a uma única árvore j, se esta for uma árvore centro da UPA.

d) Restrições de regulação da produção (Equação 9 e 10): Regulam o volume total acima do DMC de cada UPA, em função da taxa de variação permitida. Essa restrição garante o principal objetivo desse problema, pois permite a formação de UPAs com produção semelhante.

e) Restrições de regulação da produção (Equação 11 e 12): Regulam a renda total acima do DMC de cada UPA, em função da taxa de variação permitida. Essa restrição garante o principal objetivo desse problema, pois permite a formação de UPAs com produção semelhante.

f) Restrição binária (Equação 13): garante que as variáveis de decisão assumam valores 0 ou 1.

2.4 META-HEURÍSTICA ILS

A técnica *Iterated Local Search* (ILS) é uma meta-heurística baseada em busca Local. Foi proposta por Lourenço, Martin e Stutzle em 2002 e, desde então, já foi amplamente utilizada na resolução de diversos tipos de problemas com por exemplo Problema de Roteamento de veículos (PRV), Problema Alocação de Recursos (PAR), Problema de Rotação de culturas (PRC) e Problema de Agendamento (PA) e entre outros.

Para Subramanian (2008), a diferença entre algoritmos de Busca Local e o ILS, é o fato de que, em geral, após o alcance de uma solução ótima local, os algoritmos de Busca Local continuam o processo a partir de uma solução inicial completamente nova, e o ILS, aplica perturbações a essa solução para continuar as iterações.

Suponha que uma solução ótima local tenha sido encontrada por um algoritmo de busca local. Ao invés de reiniciar o mesmo procedimento a partir de uma solução completamente nova, a meta-heurística ILS tem a característica de aplicar repetidamente uma busca local às soluções iniciais obtidas através de perturbações das soluções ótimas locais previamente visitadas. Segundo Lourenço et al. (2002), a ideia essencial da ILS está atribuída ao fato desta meta-heurística realçar seu foco em um subespaço menor, ao invés de considerar o espaço completo de soluções, definido por aquelas que são ótimos locais de um dado procedimento de otimização.

2.4.1 Pseudocódigo do ILS

A Figura 9 apresenta o pseudocódigo para meta-heurística *Iterated Local Search* (ILS).

```
Início;
S^0 ← Construcao_Aleatoria
S ← Busca_Local(S^0);
S* ← S
repita
    S' ← Perturbacao(S,história);
    S'' ← Busca_Local(S');
    S ← Criterio_Aceitacao(S,S'',história);
    se S for melhor que S* então
        S* ← S;
    fim se
até critério de parada não satisfeito
Retornar Solução S*;
Fim.
```

Figura 2 - Pseudocódigo ILS
Fonte: Subramanian(2014)

Meta-heurística ILS é baseada em quatro componentes (procedimentos) principais:

2.4.1.1 Procedimento gerador da solução inicial

O procedimento de gerar a solução inicial visa gerar uma solução através de um método empírico para que se possa tem uma solução inicial para a resolução do problema.

2.4.1.2 Procedimento de Busca Local

Busca local que é um procedimento iterativo que consiste em melhorar uma solução s' procurando novas soluções vizinhas dela. Estas soluções vizinhas são

obtidas realizando algumas alterações (movimentos) na estrutura da solução atual s'. Escolhe-se um vizinho s dentre todos os vizinhos de s'. Se o vizinho escolhido s é melhor que s', a busca continua a partir de s (ou seja, s'←s). O procedimento finaliza quando não seja possível melhorar a solução atual s', ou seja, quando s' é um ótimo local, como o problema PAPF é de minimização a busca local termina em um mínimo local.

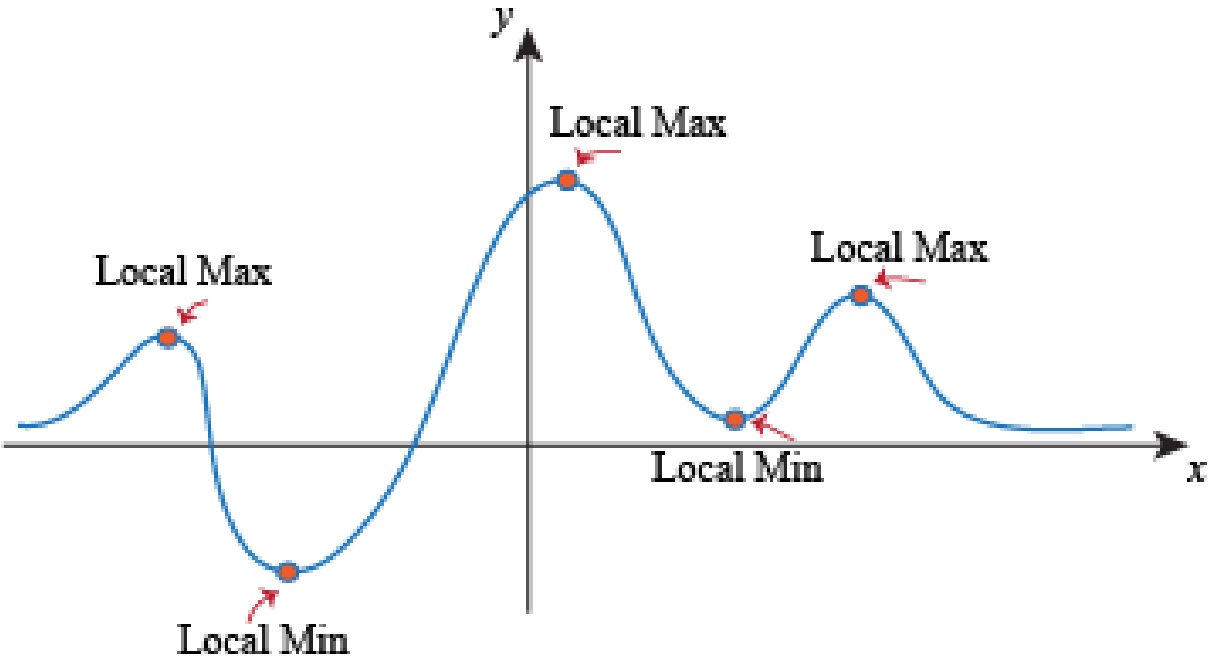

Figura 3 - Exemplo de Máximo e Mínimos.
Fonte: Subramanian (2008).

2.4.1.3 Procedimento perturbatório

De acordo com Stützle (1998), a modificação efetuada na etapa de perturbação é empregada com o objetivo de escapar de uma solução ótima local ainda distante de um ótimo global. A grande vantagem do ILS possui função de perturbação, através deste método a solução do ILS consegue sair dos ótimos locais através das perturbações na solução, assim possuído um espaço de busca bem maior. Um exemplo de perturbação e mostrado na figura 3.

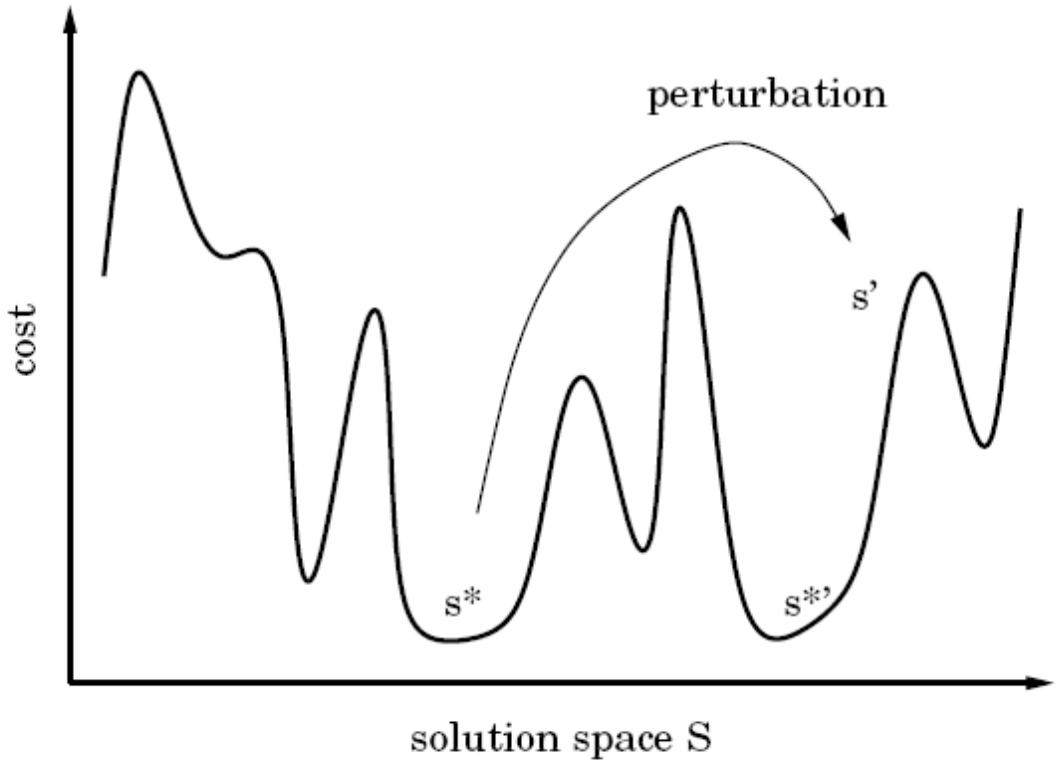

Figura 3 – Perturbação.
Fonte: Stützle (1998).

2.4.1.4 Procedimento de Critério de Aceitação

Procedimento de critério de aceitação verifica que a solução encontrada e melhor que a atual já guardada.

2.5 DADOS UTILIZADOS

Neste trabalho, foram os dados são oriundos de uma área de manejo florestal localizada em Rio Branco (AC) com 382,09ha. Foram inventariados 1.235 indivíduos exploráveis, com volume total de 8.704,7554m³ e renda bruta total estimada pelo Guia Florestal do Estado do Mato Grosso em R$390.371,92.

Figura 4 - Área de Estudo
Júnior(2014)

3 METODOLOGIA

A metodologia abordada neste projeto consiste na aplicação da meta-heurística *Iterated Local Search* (ILS) para resolução do Problema de Alocação de Pátios Florestais (PAPF).

A meta-heurística ILS foi modelada e implementada na linguagem C++. Os testes foram realizados em um computador com processador Intel Core I5 2.40GHz, 8GB de memória RAM. Para os mesmos, foi utilizada instância definida a partir de dados referentes a uma área de manejo florestal localizada em Rio Branco (AC).

3.1 REPRESENTAÇÃO DE UMA SOLUÇÃO

A representação da solução adotada neste trabalho considera em encontrar a menor distância entre os pátios centrais em relação as árvores de capa pátio relacionado, e o volume e renda de cada árvore com uma determinada taxa de flexibilização. Cada árvore possui uma latitude e longitude (Figura 5), gerando assim uma matriz de distância.

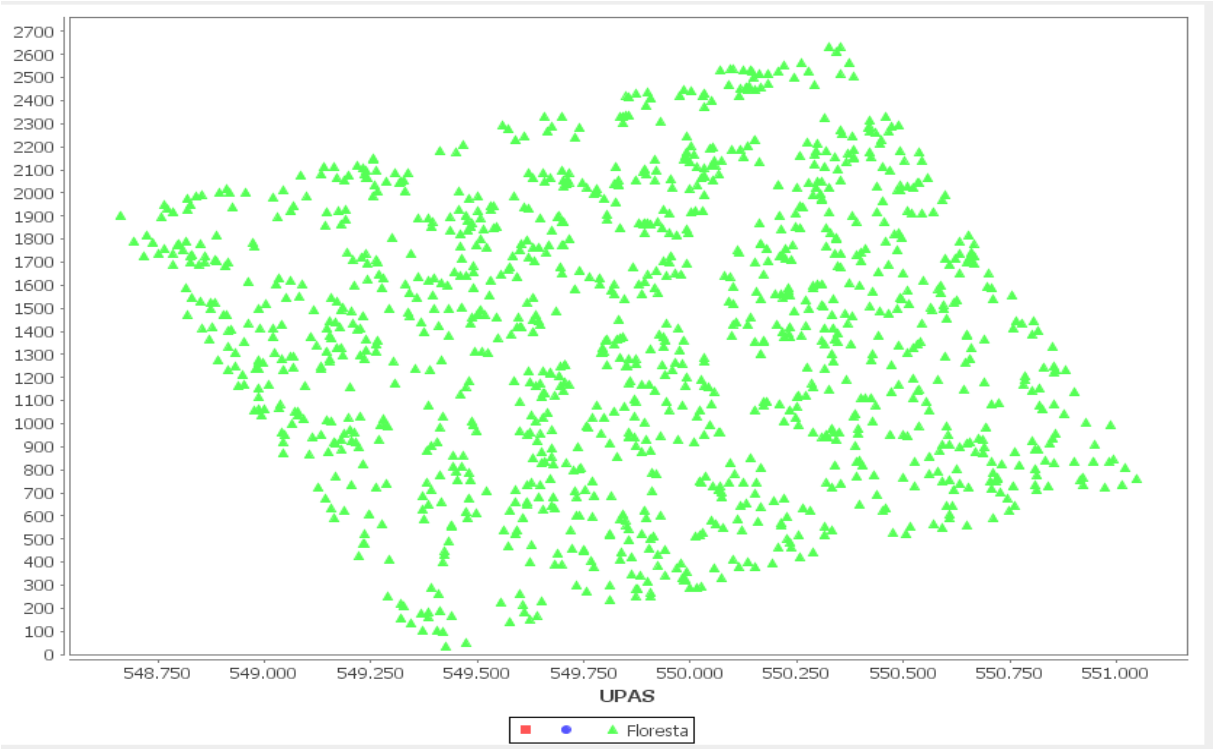

Figura 5 - Representação Latitude e Longitude de Cada árvore.

Uma possível solução é representada na Figura 6 onde possui 4 pátios centrais assim formando 4 unidades de produção, onde os pontos em vermelho

representa os pontos centrais, as cores em amarelo representa o pátio 1, cor em azul representa o pátios 2, cor em marrom representa o pátio 3 e a cor amarela representa o pátio 4.

A meta-heurística ILS primeiramente gera uma solução inicial de forma empírica S definindo de forma aleatória os pátios e seu respectivos centrais, assim através desta solução é aplicado uma busca local (movimentos de vizinhança) na solução S até que seja encontrado um mínimo local S', após encontrado o ILS armazena a solução, após este passo e aplicado uma perturbação na solução e também uma busca local na solução perturbada S*, caso esta solução seja melhor que já armazenada e substituída.

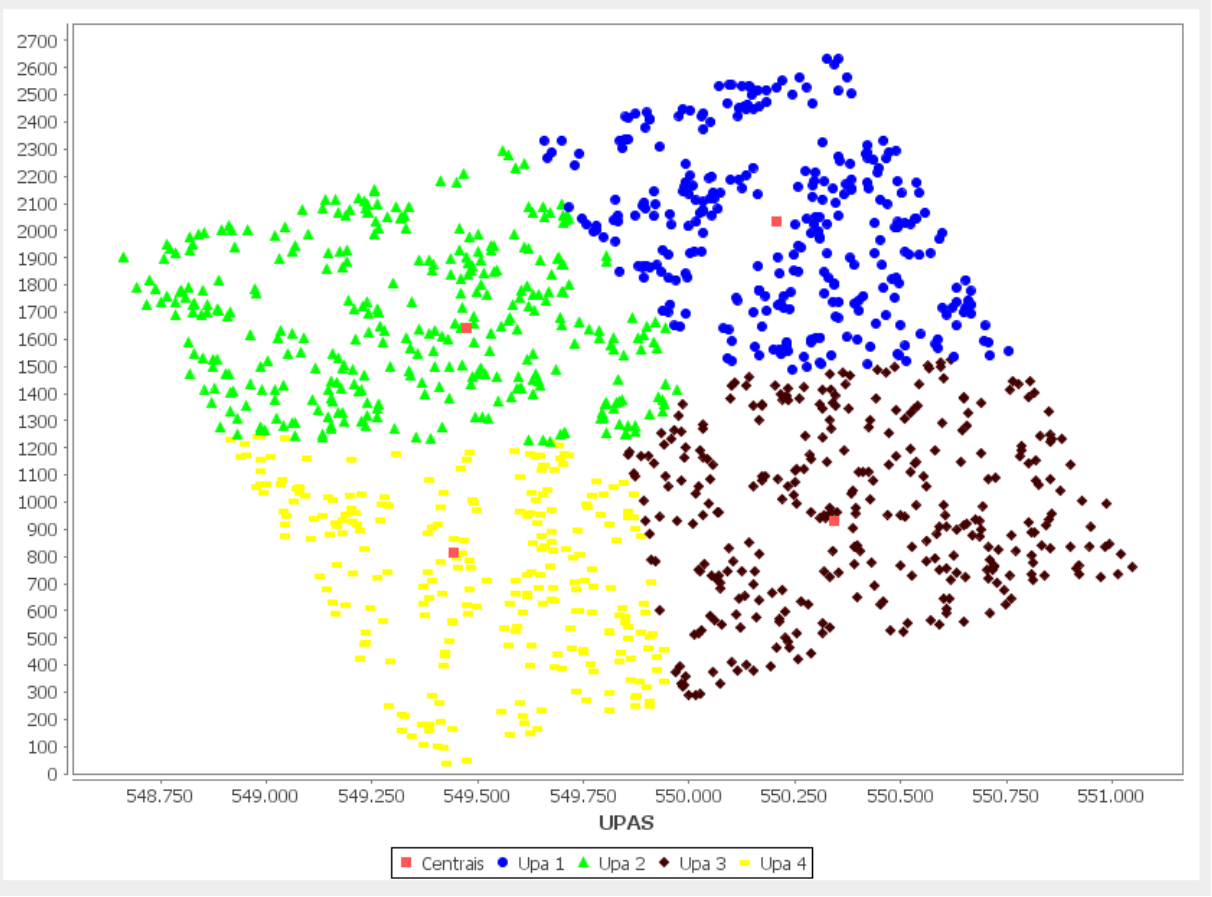

Figura 6 - Representação de um solução com 4 pátios

3.2 ESTRUTURAS DE VIZINHANÇA

Uma estrutura de vizinhança pode ser definida pelos movimentos entre os componentes da solução, ou seja, as diferentes estruturas de vizinhança são obtidas

a partir de uma operação chamada movimento. Seja uma solução s conhecida, uma solução s' pode ser obtida por meio de dois movimentos de troca realizados na solução.

Para este trabalho, foram desenvolvidos 2 tipos de movimentos, que são descritos a seguir:

3.2.1.1 **Troca de uma Árvore Entre os Pátios da Solução**

O movimento de Troca de uma Árvore Entre os Pátios da Solução (TAEPS) realiza a troca de uma árvore presente em um determinado pátio para outro pátio da solução. Esta troca altera o valor que representa em qual pátio a árvore será alocado. De acordo com a seguinte forma:

1. O método seleciona aleatoriamente um árvore da solução;
2. Após selecionar, o método altera a referência de qual pátio a árvore está alocado;
3. Com isso o método calcula a flexibilidade de volume e renda;
4. Após calcular a flexibilidade de volume e renda e se for válido é alterado.

A Figura 7 apresenta um exemplo onde uma árvore é escolhida para aplicação do movimento de Troca de uma Árvore Entre os Pátios da Solução. A Figura 8 e exibida a solução após a realização do movimento.

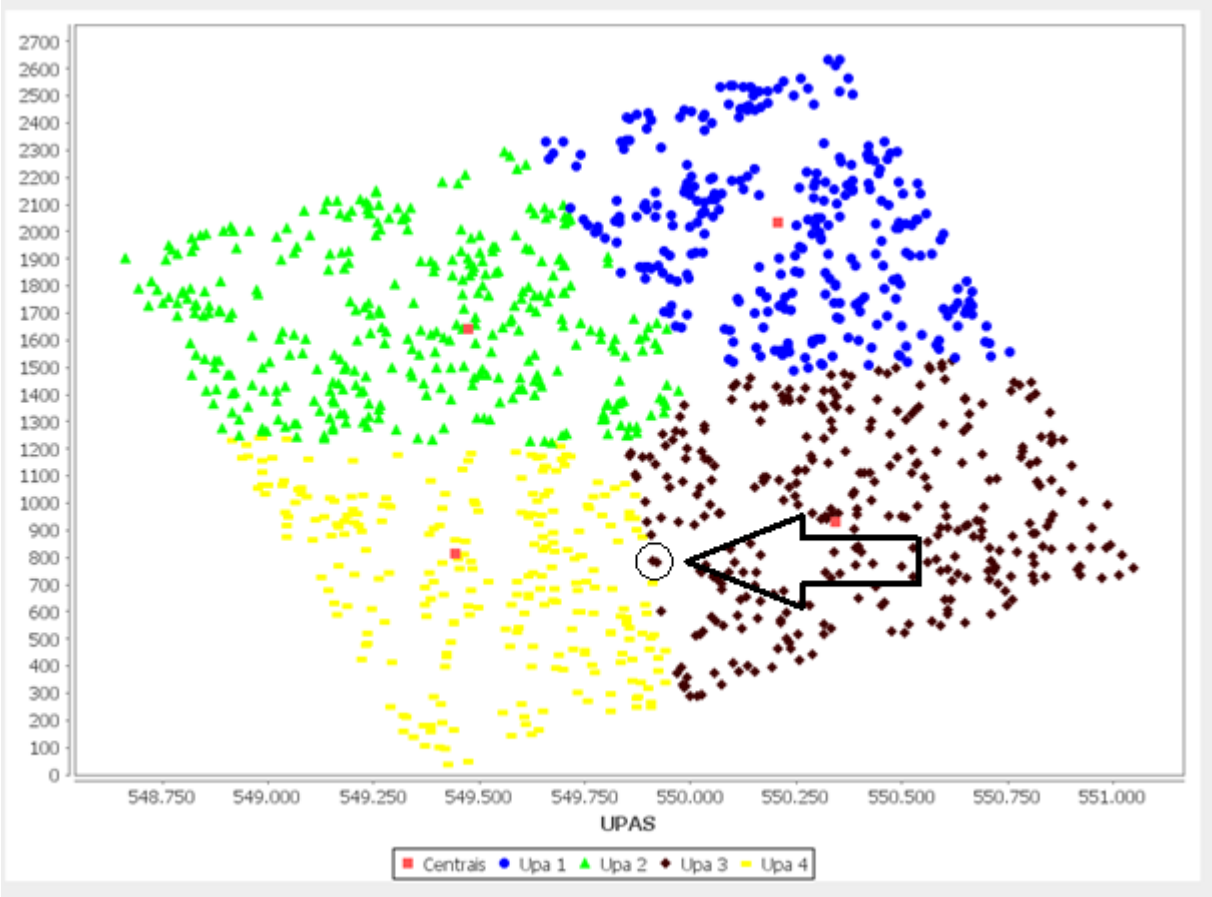

Figura 7 - Representação de uma solução antes da troca movimento TAEPS.

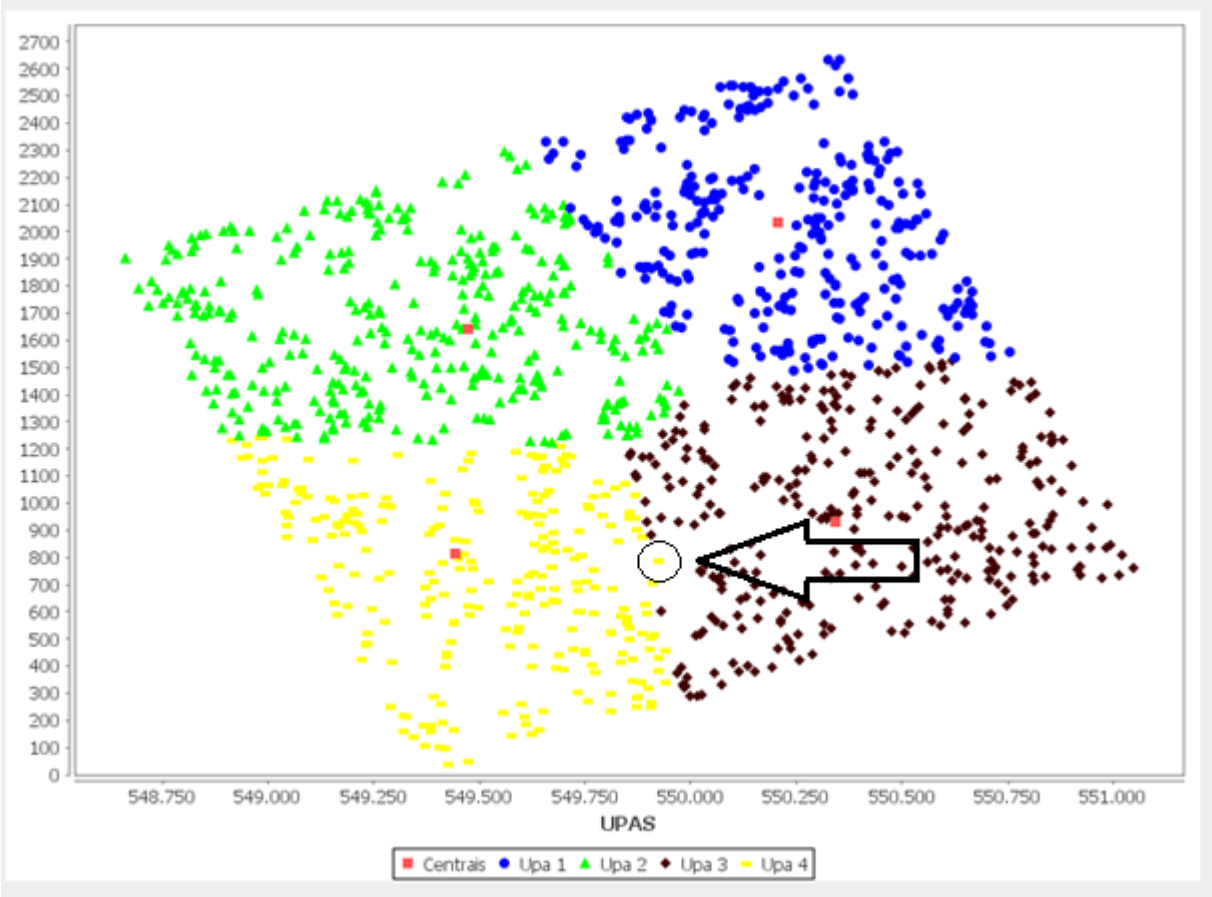

Figura 8 - Representação de uma solução após o movimento TAEPS.

3.2.2 **Troca do Pátio Central**

A Troca do Pátio Central (TPC) realiza a troca de equipe para um determinado pátio escolhido empiricamente, após a escolha o método verifica se o próximo árvore escolhida está no mesmo pátio assim respeitando a restrição a integridade da solução. O movimento possui os seguintes passos:

1. O método seleciona aleatoriamente um pátio central da solução;
2. Uma vez selecionada, um nova árvore do mesmo pátio e selecionado de forma aleatória;
3. Após o novo central e selecionado e calculado a flexibilidade de renda e volume, se for viável, este novo Uts é escolhido para ser o novo pátio central;

Uma possível representação e mostrado na Figura 9, onde após o movimento TPC uma nova solução é gerada como mostrado na Figura 10.

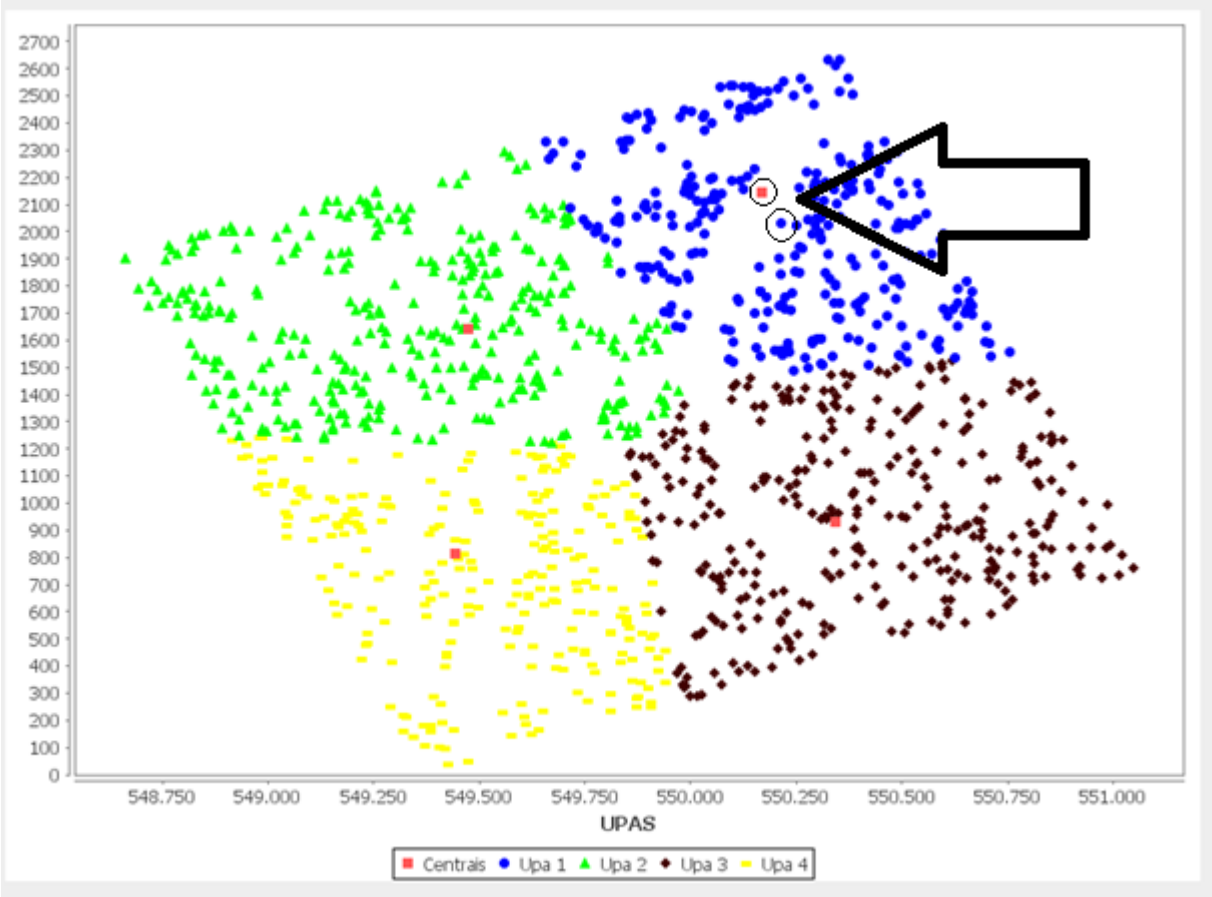

Figura 9 - Solução antes do movimento Troca do Pátio Central

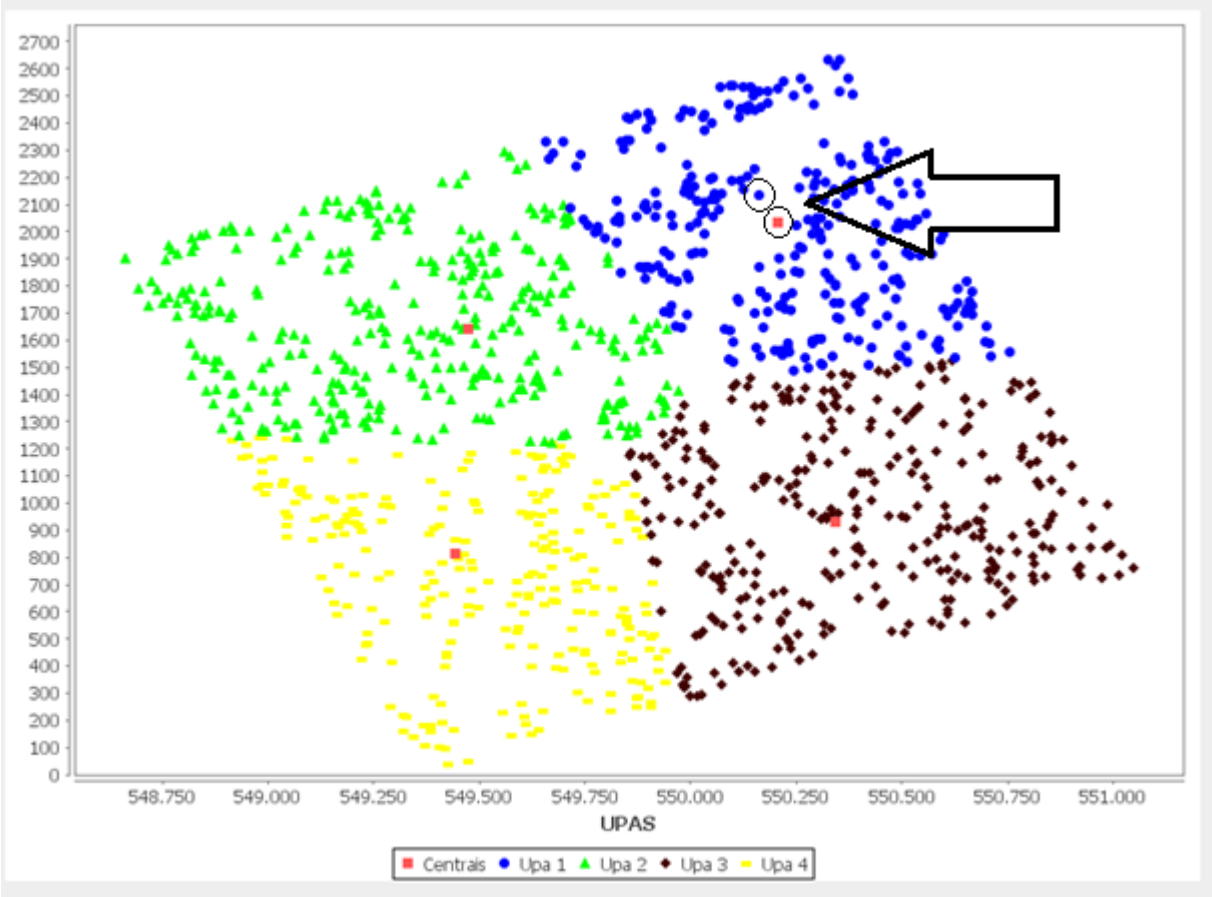

Figura 10 - Solução após do movimento Troca do Pátio Central

3.3 ADAPTAÇÃO DA META-HEURÍSTICA ILS

Conforme Lourenço, Martin e Stutzle (2002), a implementação do ILS depende de quatro etapas. São eles: (i) “GeracaoSolucaoInicial”, no qual uma solução inicial é construída; (ii) “BuscaLocal”, que refina a solução inicialmente obtida; (iii) “Perturbacao”, onde um novo ponto de partida é gerado, por meio de uma perturbação de uma solução encontrada na busca local; (iv) “CriterioAceitacao”, que determina a partir de qual solução deve-se prosseguir a busca.

A Figura 11 ilustra a implementação do algoritmo ILS.

```
1   Solucao ILS(Solucao &s, int temp) {
2
3       Solucao aux;
4       clonarSol(aux, s);
5       HeuristicaConAleatoria(s);
6       BuscaLocal(s);
7
8       for (int i = 0; i < temp; i++) {
9
10          perturbacao(aux);
11          BuscaLocal(aux);
12
13          if (aux.fo < s.fo) {
14              clonarSol(aux, s);
15          }
16
17      }
18      return aux;
19  }
20
```

Figura 11 – Implementação ILS
Fonte: Autor.

3.3.1 **Principais Componentes do ILS**

3.3.1.1 Gerador de soluções

O procedimento de gerar a solução inicial visa gerar uma solução através de um método empírico para que se possa ter uma solução inicial para a resolução do problema. Neste trabalho a solução inicial foi desenvolvido de maneira aleatória, onde consiste em preencher os pátios da solução de forma empírica e também na definição dos pátios centrais.

3.3.1.2 Busca Local

Para este trabalho, foi implementada a busca local que realiza sempre a melhor troca possível e que repete este processo até que não exista mais alguma troca que melhore o valor da função objetivo (distância das arvores até os pátios). A vizinhança é definida como o conjunto de soluções alcançadas pela troca de uma árvore aberta (presente na solução) por outra fechada (que não faz parte da solução). Em cada iteração, o algoritmo procura trocar uma árvore pertencente a solução por

outra que não pertence a solução, além disto, é calculado um fator que considera o impacto total na solução caso se realize uma determinada troca. Com estes valores, é possível estimar o ganho de cada troca e efetivar aquela que possui o maior ganho.

3.3.1.3 Perturbação

De acordo com Stützle (1998), a modificação efetuada na etapa de perturbação é empregada com o objetivo de escapar de uma solução ótima local ainda distante de um ótimo global. Frequentemente, o movimento é escolhido aleatoriamente dentro de uma vizinhança de maior ordem em relação à utilizada no procedimento de busca local.

A perturbação implementada neste trabalho, foi a perturbação parcial da solução, ou seja, um solução é selecionada, parte da solução é alterada de forma aleatória onde é realizado a troca parcial dos pátios centrais, assim formando uma nova solução, assim após a geração da nova solução gerada com as alterações é verificado se é uma solução viável para o problema.

3.3.1.4 Critério de Aceitação

O critério de aceitação é utilizado para decidir qual a melhor solução para o problema. Após realizar o cálculo de distância e o cálculo de flexibilização o método avalia se houve uma melhoria, se sim o método armazena a solução. A escolha deste critério é importante, haja vista que controla o balanço entre a intensificação e diversificação. Como o problema e de minimização o critério de aceitação verifica se o valor da função objetivo da solução é menor já encontrada. Caso seja, armazena a nova solução para o problema.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para as realizações dos experimentos, a plataforma utilizada foi um sistema com processador Intel Core I5 2520M com 2 núcleos de 2.40GHz, 8GB de memória RAM e sistemas operacional Windows 10. A algoritmo foi modelado e implementado na linguagem C++.

Foram executados testes a fim de avaliar o desempenho da meta-heurística, a fim de ser comparado às melhores soluções obtidas na literatura. Foram realizados 20 testes com a meta-Heurística ILS e 20 testes com Algoritmo Guloso proposto por Silva (2015), para cada teste foi executado num tempo de 20 minutos, os testes foram divididos em etapas para cada porcentagem de flexibilização de renda e volume, sendo que para cada etapa foram realizados 5 testes com ILS e mais 5 testes com Algoritmo Guloso, onde que a primeira etapa com flexibilidade de renda e volume em 15%, a segunda etapa com flexibilidade de renda e volume em 10%, a terceira etapa com flexibilidade de renda volume em 5% e o quarta etapa com flexibilidade de renda e volume em 1 %. A Tabela 1 apresenta os melhores resultados obtidos na realização dos testes com Algoritmo ILS e a Tabela 2 com Algoritmo Guloso.

Tabela 1 – Resultados obtidos na execução do algoritmo ILS

Taxa de Flexibilidade	N-pátios	Melhor FO	Tempo Melhor FO (Seg.)	FO Média	Desvio padrão	Variação
15%	1	742,58	61	742,69	0,18	0,03
	2	572,18	96	575,23	3,11	9,69
	3	456,36	126	467,91	6,64	44,11
	4	391,62	131	406,51	11,29	127,46
10%	1	742,58	42	742,66	0,19	0,04
	2	573,31	153	575,48	2,44	5,93
	3	457,27	258	465,87	7,43	55,15
	4	395,33	230	409,34	8,90	79,29
5%	1	742,58	120	742,69	0,21	0,04
	2	571,1	143	573,03	1,98	3,94
	3	457,57	390	479,12	14,41	207,60
	4	389,81	456	414,42	16,04	257,16
1%	1	742,58	127	742,77	0,42	0,17
	2	571,08	240	579,44	7,61	57,86
	3	453,3	450	493,83	26,81	718,83
	4	403,28	603	453,35	63,02	3971,15

Fonte: O autor.

Tabela 2 – Resultados obtidos na execução do Algoritmo Guloso

Taxa de Flexibilidade	N-pátios	Melhor FO	Tempo Melhor FO (Seg.)	FO Média	Desvio padrão	Variação
15%	1	742,58	56	742,58	0,00	0,00
	2	570,38	110	575,16	3,77	14,24
	3	460,04	110	468,57	7,97	63,58
	4	395,75	121	406,57	7,43	55,16
10%	1	742,58	45	742,69	0,18	0,03
	2	571,37	150	581,27	11,84	140,18
	3	453,88	203	471,98	13,53	183,01
	4	389,56	232	423,25	35,09	1230,99
5%	1	742,58	131	742,69	0,21	0,04
	2	572,78	173	577,41	3,90	15,17
	3	442,09	431	465,31	14,76	217,96
	4	395,83	403	420,24	16,47	271,33
1%	1	742,58	161	742,82	0,39	0,15
	2	571,45	231	577,14	5,16	26,58
	3	463,01	421	516,65	42,30	1788,88
	4	440,22	594	466,34	77,55	6014,73

Fonte: O autor

A Tabela 3 dispõe das melhores soluções encontradas pelo ILS em comparação com o Algoritmo Guloso, A coluna Taxa de flexibilidade informa a porcentagem da taxa de flexibilização de Volume e Renda definida para a realização do cálculo. A coluna Tempo Melhor FO informa o instante de tempo em segundos no qual a melhor FO foi obtida, e a coluna FO Media indica o valor médio entre as FO’s obtidas.

Tabela 3 – Comparação dos resultados do ILS com Algoritmo Guloso

		Algoritmo Guloso			ILS		
Taxa de Flexibilidade	N-pátios	Melhor FO	Tempo Melhor FO (Seg.)	FO Média	Melhor FO	Tempo Melhor FO (Seg.)	FO Média
15%	1	742,58	56	742,58	742,58	61	742,69
	2	570,38	110	575,16	572,18	96	575,23
	3	460,04	110	468,57	456,36	126	467,91
	4	395,75	121	406,57	391,62	131	406,51
10%	1	742,58	45	742,69	742,58	42	742,66
	2	571,37	150	581,27	573,31	153	575,48
	3	453,88	203	471,98	457,27	258	465,87
	4	389,56	232	423,25	395,33	230	409,34
5%	1	742,58	131	742,69	742,58	120	742,69
	2	572,78	173	577,41	571,1	143	573,03
	3	442,09	431	465,31	457,57	390	479,12
	4	395,83	403	420,24	389,81	456	414,42
1%	1	742,58	161	742,82	742,58	127	742,77
	2	571,45	231	577,14	571,08	240	579,44
	3	463,01	421	516,65	453,3	450	493,83
	4	440,22	594	466,34	403,28	603	453,35

Fonte: O autor

Na Figura 12, 13 e 14 é mostrado os gráfico de comparação dos resultados para melhor visualização. Onde podemos ver que ao comparar os resultados do algoritmo ILS obteve resultados um pouco melhores em relação ao Algoritmo Guloso.

Ao analisar a Figura 12, percebe-se que para a maioria dos casos teste, a solução obtida pelo ILS foi um pouco superior aos resultados obtidos pelo Algoritmo Guloso, onde o ILS ganha vantagem quando há mais de dois pátios para a solução, pois como o ILS possui um perturbação em cada interação da sua execução, possui um espaço de busca maior que o Algoritmo Guloso.

Ao analisar o tempo total para encontrar a solução (Figura 14), o ILS foi um pouco inferior em relação ao Algoritmo Guloso, onde analisando o tempo para as melhores soluções encontradas de cada método.

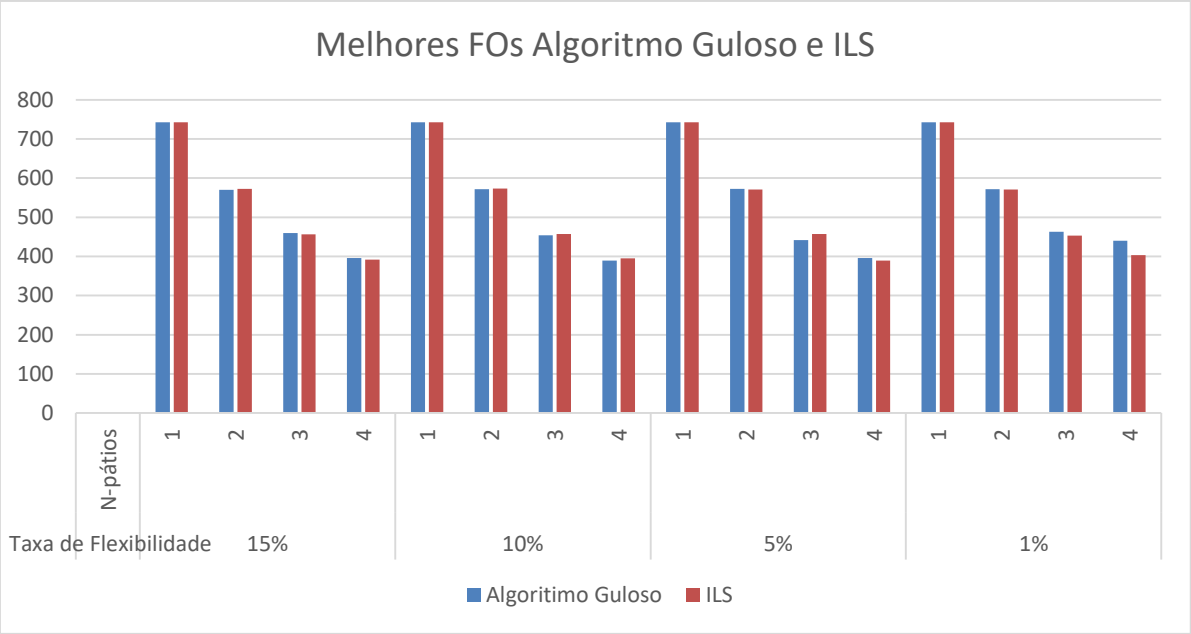

Figura 12- melhores FOs Algoritmo Guloso e ILS

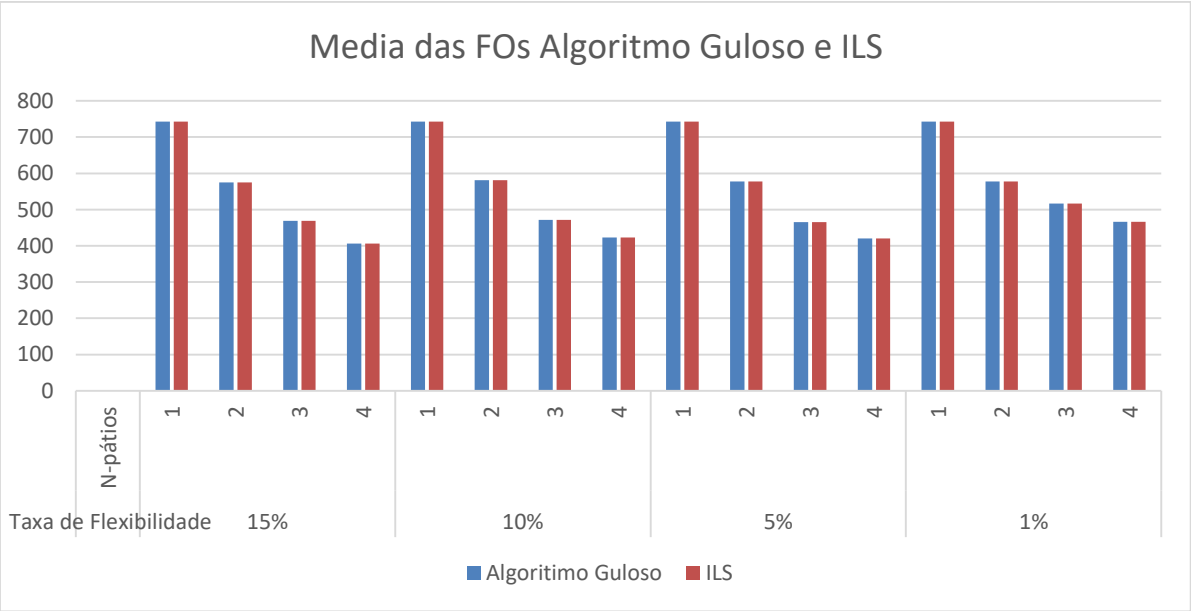

Figura 13 - Medias das FOs Algoritmo Guloso e ILS

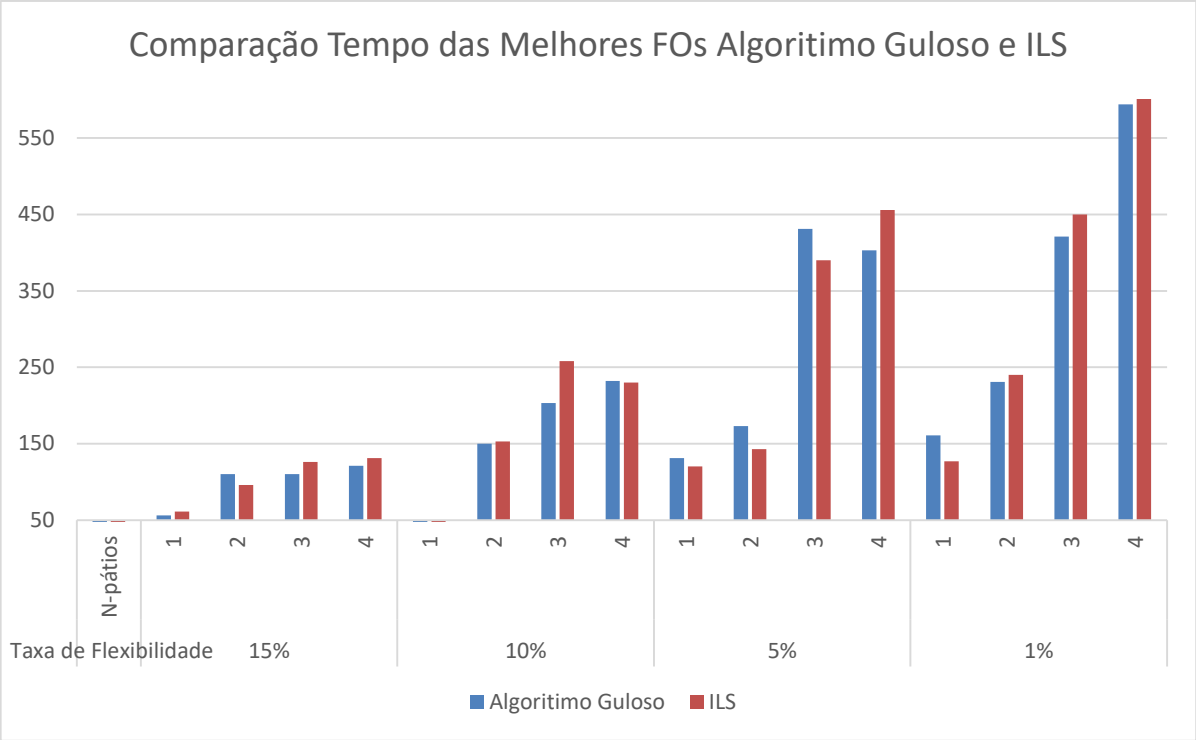

Figura 14 - Comparação de tempo das melhores FOs Algoritmo Guloso e ILS

A meta-heurística *Iterated Local Search* (ILS), quando aplicada ao problema de PAPF mostrou-se uma boa alternativa para a resolução do problema, onde obteve bons resultados comparados com o resultados do algoritmo guloso (Silva 2015a) literatura.

5 CONCLUSÕES

O presente trabalho abordou o Problema de Alocação de Pátios Florestais (PAPF) apresentado por Silva (2015a). O modelo utilizado para este problema é baseado no modelo proposto para o Problema de p-medianas.

Para a resolução do problema proposto foi utilizada a meta-heurística meta heurística *iterated local search* (ILS).

Os resultados obtidos pelo ILS para o PAPF foram satisfatórios e, em alguns casos, superiores ao Algoritmo Guloso. Na melhor ocorrência, entre as instâncias em que o Algoritmo Guloso encontrou resultados.

O ILS se mostrou como uma boa alternativa para a resolução do PAPF, Em trabalhos futuros, novas instâncias para o problema poderão ser exploradas, e uma nova meta-heurística como *Simulated Annealing*, Algoritmo Genético.

Os resultados obtidos demonstram o comportamento do método para diferentes situações, sendo aplicado a quatro categorias : com flexibilização de Renda e Volume em 15%, 10%, 5% e 1%.

6 REFERÊNCIAS

ARAÚJO, F. C. R.; SOUZA, M. J. F.. Uma heurística para o planejamento operacional de lavra com alocação dinâmica de caminhões. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 64, n. 1, jan./mar. 2011.

BEASLEY, J. E. *Lagrangean heuristics for location problems*. **European Journal of Operational Research,** v. 65, n. 3, p. 383–399, 1993.

BRAZ, E. M.; CARNIERI, C.; ARCE, J. E. Um modelo otimizador para organização dos compartimentos de exploração em floresta tropical. **Revista Árvore**, Viçosa: v. 28, n. 1, p. 77-83, jan/fev, 2004.

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

HAKIMI, S. *Optimum location of switching centers and the absolute centers and the medians of a graph. Operations Research*, v. 12, n. 3, p. 450–459, 1964.

IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis). **Conceito de manejo florestal**. Disponível em: < http://www.ibama.gov.br/areas-tematicas/manejo-florestal-sustentavel>. Acesso em: 04 mai. 2016.

INPE(Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). **Projeto prodes monitoramento da floresta amazônica brasileira por satélite**. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php>. Acesso em: 12 mai. 2016.

JÚNIOR, M. A. I. et al. Alocação de pátios de armazenamento de madeira em um plano de manejo florestal na Amazônia ocidental. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, XLVI., 2014, Salvador, BA. **Anais**... Salvador, 2014. p. 704-713.

LOURENÇO, H. R.; MARTIN, O. C.; STÜTZLE, T. *Iterated Local Search*. In: Fred Glover e Gary A. Kochenberger (eds.), Handbook of Metaheuristics, p. 321-353. Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA, 2002.

MARTINHAGO, A. Z. Otimização para a locação de pátios de estocagem para exploração de impacto reduzido na Amazônia Brasileira. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2012.

MOREIRA, J. M. M. A. P.; RODRIGUEZ, L. C. E.. A incorporação de corredores de conectividade no manejo de florestas industriais utilizando a heurística da RazãoR. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 48, n. 2, abr./jun. 2010.

SILVA, E. F. et al. Uma heurística para formação de unidades de trabalho no manejo florestal de matas nativas. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, XLVII., 2015, Pernambuco, PE. **Anais**... Pernambuco, 2015. P 3469-3470.

SILVA, P. H. Desenvolvimento de um modelo para alocação ótima de pátios de estocagem de madeira. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Larvas, Larvas, MG, 2015.

SILVA, G. F. da, GHISOLFI, E.M., TEIXEIRA, A. F., CABRINI, A. M., BARROS JUNIOR, A. A. de. O Método de restrições na solução de um problema de planejamento florestal multiobjectivo. **Revista brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.1, n.1, n.único, p.41-48, 2006.

STÜTZLE, T. G. *Local Search Algorithms for Combinatorial Problems*. Tese (doutorado em Ciência da Computação) Technische Universit¨at Darmstadt, Alemanha, 1998.

SUBRAMANIAN, A. Meta-heurística *Iterated Local Search* aplicada ao Problema de Roteamento de Veículos com Coleta e Entrega Simultânea. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal da Paraíba, Joao Pessoa, PA, 2008.

TAVARES, T. M. Otimização da alocação de pátios no Manejo Florestal Sustentável na Flora do Jamari. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2016.