

OTIMIZAÇÃO DO PROBLEMA DE COLHEITA FLORESTAL UTILIZANDO UM ALGORITMO GENÉTICO

Ana Paula Martins Guimarães Mutz

Leandro Colombi Resendo

Instituto Federal do Espírito Santo – Campus Serra
Bacharelado em Sistema de Informação

Rodrigo de Alvarenga Rosa

Universidade Federal do Espírito Santo
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

RESUMO

Nesse trabalho é investigada a logística de transporte para o problema da colheita florestal. Uma das principais características do problema tratado é o fato de ter um depósito (a fábrica), vários clientes (os talhões) e cada cliente precisar ser visitado várias vezes (as demandas). Além disso, a fábrica conta com um número reduzido de veículos, fazendo com que cada veículo realize várias viagens. Nesse contexto, para a minimização do tempo de atendimento dos talhões (função objetivo utilizada) é necessário reduzir o tempo em que os talhões esperam a chegada de um veículo. Para a otimização desse processo, neste trabalho é proposto um algoritmo genético para o problema. Os resultados indicam que o algoritmo genético conseguiu distribuir a carga de tarefas em diversas situações, otimizando o tempo de atendimento. Além disso, o método proposto se mostrou capaz de resolver problemas de grande porte, podendo ser aplicado em casos reais.

ABSTRACT

In this work the transportation logistics for the problem of forest harvesting is investigated. One of the main characteristics of the problem is that it has a warehouse (the factory), several customers (plots) and each customer needs to be visited several times (the demands). In addition, the factory has a reduced number of vehicles, making each vehicle make several trips. In this context, it is necessary to reduce the time in which the stands wait for the arrival of a vehicle, in order to minimize the service time of the stands (objective function used). For the optimization of this process, a genetic algorithm for this problem is proposed. The results indicate that the generic algorithm was able to distribute the task load in several situations, optimizing the service time. In addition, the proposed method proved to be capable to solve large problems, and could be applied in real cases.

1. INTRODUÇÃO

A colheita e transporte de florestas é parte importante da cadeia produtiva da celulose e na produção sustentável de madeira. Este tipo de colheita, em geral, envolve grandes áreas, assim o bom planejamento da logística de colheita é fundamental para a otimização dos custos de produção. Em grandes indústrias produtoras de celulose as áreas de produção costumam ficar a centenas de quilômetros da fábrica, assim um mau planejamento pode impactar consideravelmente no custo de produção.

No processo de colheita florestal tem-se a fábrica, onde os veículos (caminhões) ficam aguardando a programação para a saída. No campo, máquinas de colheita preparam a madeira para o transporte (colhendo a árvore, retirando os galhos e folhas) deixando apenas o tronco comercialmente viável. Máquinas empilhadeiras de madeira preparam as pilhas para que os veículos busquem, montando os “estoques” de madeira no campo, chamado de talhão. Assim, com vários talhões espalhados por diferentes regiões os veículos são demandados para buscar a madeira e levar para a fábrica. Cada talhão precisa de vários veículos para atender sua demanda, assim um veículo sai da fábrica vai até um talhão e volta. Dada a limitação do número de veículos e a quantidade do número de talhões, uma distribuição de trabalho mal feita pode gerar atraso na coleta das árvores, culminando em prejuízo para a empresa.

Apesar da relevância do problema para este setor da economia, na literatura ainda existem

poucos trabalhos tratando da otimização da logística da colheita florestal. Os trabalhos que são encontrados tratam basicamente de diferentes características do problema ou uma investigação sobre a otimização da logística utilizando programação linear inteira. Tratando de características específicas do problema, destacamos o trabalho de Silva (2015) onde foram formulados modelos de colheita por blocos e talhões, minimizando os custos das atividades de colheita e manutenção da rede de estradas florestal envolvida, sujeitos a restrições de geração de caminhos de escoamento da produção madeireira a partir das unidades de manejo até a rodovia pavimentada por meio da aplicação do algoritmo de otimização em redes. Ainda sobre restrições específicas do problema pode-se citar Rudez (2015) que propõe um estudo de otimização considerando regiões montanhosas, e Bassoli *et al.* (2016) que investiga o uso de algumas tecnologias específicas e seu impacto na eficiência da colheita.

Como relação aos métodos de otimização, a única estratégia encontrada na literatura é a programação linear e inteira. Utilizando esta estratégia pode-se citar Sousa *et al.*, (2012) que apresenta uma revisão de literatura sobre a utilização da técnica de programação linear como suporte para a tomada de decisão por empresas do setor florestal; Silva *et al.*, (2013) que propõem um estudo com os objetivos de simular a remoção de indivíduos de um remanescente de floresta Estacional Semidecidual, utilizando o quociente de De Liocourt a partir de um diâmetro mínimo de corte e realizar o planejamento operacional da exploração florestal; Lachini *et al.* (2018), que o presente estudo teve como objetivo minimizar os custos de transporte de madeira de uma empresa florestal por meio da utilização de programação linear inteira; e Vieira (2018) que propõem a otimização da roteirização do transporte de máquinas florestais utilizando a programação linear inteira. Para isso o autor considerou presente estudo teve como objetivo minimizar os custos de transporte de madeira de uma empresa florestal por meio da utilização de programação linear inteira.

Diferente das estratégias encontradas na literatura, este trabalho propõe a otimização do transporte de madeira em uma colheita florestal utilizando a meta-heurística Algoritmo Genético. Nesse artigo é detalhado a aplicação dos operadores da heurística (cruzamento e mutação) aplicados ao problema investigado. Para os resultados numéricos foram avaliadas 29 instância divididas em 4 grupos. Os resultados computacionais avaliaram a eficiência do algoritmo proposto, sua capacidade de resolver problemas de grande porte e diferentes aspectos do problema investigado.

O restante desse artigo está organizado da seguinte forma: Na próxima seção está detalhado o problema, incluindo um exemplo ilustrativo; Na Seção 3 é apresentado a modelagem proposta para descrever uma solução do problema dentro do contexto do Algoritmo Genético; Na Seção 4 são apresentado os resultado numérico discutindo o problema investigado em diferentes cenários. Na Seção 5 são apresentadas as principais conclusões e os trabalhos futuros.

2. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

A colheita da madeira é um procedimento com elevada importância em um planejamento florestal, principalmente do ponto de vista técnico e econômico, devido a sua considerável participação no custo final do produto. Machado *et al.* (2014) definem colheita como um conjunto de operações que envolvem a preparação e a extração da madeira até o local de transporte. Para Malinovski *et al.* (2008) e Pukki (2006) a colheita florestal abrange as várias operações: Corte, que consiste em derrubada, desgalhamento e traçamento; Agrupamento dos

talhões, que consiste em agrupar as árvores de uma região em pilhas prontas para o carregamento. Após o agrupamento é realizado o cálculo do volume de madeira para saber o número de caminhões necessários para atender cada talhão; Carregamento dos veículos, que será realizado por uma empilhadeira específica operando no talhão; Transporte, que será realizado por caminhões específicos para madeira. Consiste, basicamente, em retirar a madeira que está no talhão de levá-la para fábrica; e o descarregamento dos veículos na fábrica. Esta operação é realizada por pontes rolantes na fábrica.

Este trabalho é focado no problema de transporte, ou seja, a colheita florestal considerada engloba apenas as operações de carregamento, deslocamento e descarregamento. O planejamento logístico é crucial para a otimização dos custos de produção. Para diminuição de custos, fatores como distância, número de veículos e tempo de espera, são fundamentais na elaboração de um empreendimento florestal. Para o desenvolvimento deste trabalho foi elaborado um modelo heurístico, baseado na meta-heurística Algoritmo Genético, que simula um possível conjunto de caminhões que trafegam entre os talhões e a fábrica. O pequeno exemplo que ilustra o problema é apresentado na Figura 1.

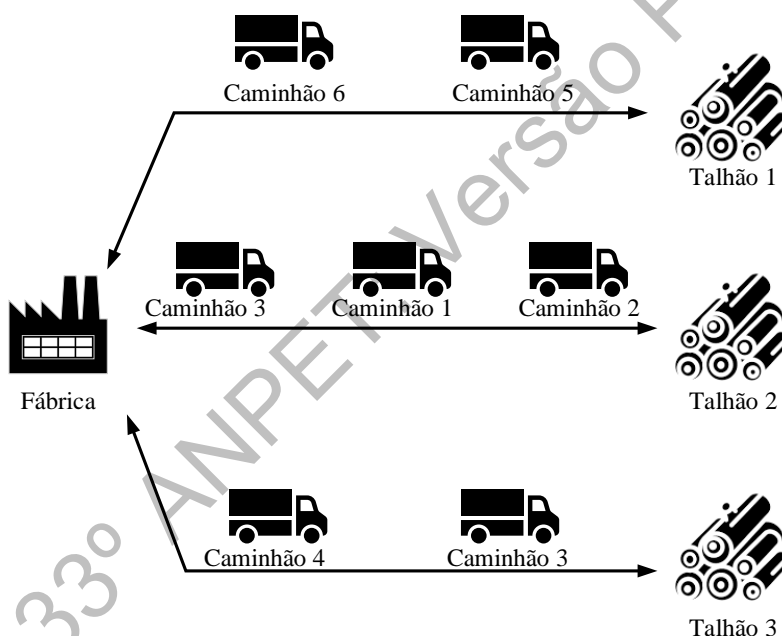


Figura 1: Estrutura do modelo heurístico.

O modelo heurístico proposto é composto pela fábrica, por um conjunto de talhões e por uma determinada quantidade de caminhões. Os caminhões saem da fábrica em direção ao talhão designado, no talhão o caminhão é carregado e se desloca novamente para a fábrica onde será descarregado. Após o descarregamento o caminhão fica disponível e pode ser utilizado para mais uma viagem. Cada talhão demanda um conjunto de viagens, que é calculada considerando o volume de madeira existente. Como a distribuição de madeira entre os talhões é relativamente uniforme, a função objetivo adotada para a otimização é minimizar o maior tempo de atendimento dos talhões. Essa estratégia, além de otimizar o custo geral, também busca uma distribuição uniforme entre o trabalho, fazendo com que a finalização do atendimentos dos talhões ocorra mais ou menos junta.

Para ilustrar o problema, a Figura 1 apresenta um pequeno exemplo. Nesse exemplo foi considerado 3 talhões, sendo atendidos por 6 veículos com capacidade idêntica. Adicionalmente, os talhões demandam de 2, 3 e 2 veículos, respectivamente. Também foi considerada a distância de cada talhão até a fábrica e o tempo de carregamento do veículo, sendo estes medidos em hora. A distância de cada talhão até a fábrica é de 2, 1,5 e 1,33 horas, respectivamente. O tempo de carregamento do veículo possui um valor constante de 0,25 horas. Na solução, note que o veículo 3 atende o talhão 2 e em seguida é o segundo veículo a atender o talhão 3. Assim o veículo 3 só ficará disponível para o talhão 3 após 4,58 horas. O talhão 3 precisa de um veículo após atender o veículo 4, isto é, 1,58 hora. Assim, nessa solução, o talhão teria um tempo de espera de 4 horas. Esse tipo de solução deve ser evitada.

O tempo total de cada talhão é calculado somando o resultado da função de Disponibilidade, representada na Figura 2, dos veículos e o tempo de carregamento do caminhão no talhão. A disponibilidade do veículo é formada pelo tempo atual do talhão onde se encontra o caminhão e a distância do talhão até a fábrica. Como exemplificado na Figura 1. A disponibilidade do primeiro caminhão de cada talhão é a soma da distância da fábrica até o talhão, o tempo de carregamento do veículo e a distância do talhão à fábrica. A Figura 2 apresenta a estrutura da função para o caso geral de disponibilidade do caminhão, sendo esta análoga ao do primeiro caminho acrescido da disponibilidade anterior.

```
Proc Disponibilidade (Dv, Dt, Tt)
Se (Dv + Dt) < Tt
    Retorna 0
Senão
    Retorna (Dv + 2Dt) - Tt
Fim
```

Figura 2: Pseudocódigo que calcula a disponibilidade do veículo

Em que:

Dv: Disponibilidade do veículo;

Dt: Distância da fábrica até o talhão;

Tt: Tempo total do talhão.

3. HEURÍSTICA PROPOSTA

Os Algoritmos Genéticos (AG) utilizam conceitos originários da biologia evolutiva de Charles Darwin para tratar problemas de otimização e busca na computação. Assim como na biologia, o AG aplica técnicas de seleção, cruzamento e mutação de modo a simular o desenvolvimento de uma espécie. O algoritmo inicia criando uma população, escolhida aleatoriamente; em seguida é realizada a avaliação de aptidão de cada indivíduo da população, onde o cálculo é realizado de acordo com a função objetivo proposta. Após o cálculo de aptidão, alguns destes indivíduos são escolhidos para pertencer a um novo grupo que serão os pais da próxima geração. A nova população é composta pelos descendentes dos pais, criada a partir do cruzamento dos pais e aplicação da mutação em alguns desses descendentes. O algoritmo executa essa sequência até atingir o critério de parada determinado, retornando o melhor indivíduo. A estrutura geral do algoritmo descrito é apresentada na Figura 3.



Figura 3: Estrutura de um Algoritmo Genético

Neste trabalho cada indivíduo representa uma solução para o problema, isto é, o sequenciamento do conjunto de caminhões pertencentes a cada talhão. A seleção dos pais acontece pelo método de seleção por Torneio, que consiste em escolher dois indivíduos aleatoriamente da população e selecionar o melhor ou pior indivíduo de acordo com uma probabilidade k definida anteriormente. Um exemplo do pseudocódigo deste algoritmo (Mitchell 1997) é apresentado na Figura 4.

```
Proc Seleção  
   $K$  = probabilidade definida  
  Repita  $N$  vezes  
    Escolha 2 indivíduos da população aleatoriamente  
     $r$  = valor aleatório entre 0 e 1  
    Se  $r < K$   
      O melhor indivíduo é escolhido  
    Senão  
      O pior indivíduo é escolhido  
    FimSe  
  FimRepita  
Fim
```

Figura 4: Algoritmo básico do método de Seleção por Torneio

Após a seleção dos indivíduos uma nova população é obtida, sendo formada pela população anterior juntamente com os novos indivíduos selecionados. A maneira de gerar novos descendentes (filhos) escolhida foi pelo cruzamento em um ponto. Esse método consiste em escolher aleatoriamente um ponto de corte do cromossomo, sendo o cromossomo representado pelo conjunto de caminhões de determinado talhão. Em cada cruzamento dois filhos são gerados; o primeiro filho é formado pelo primeiro corte do primeiro pai juntamente

com o segundo corte do segundo pai; o segundo filho é formado pelo segundo corte do primeiro pai juntamente com o primeiro corte do segundo pai.

Posteriormente a etapa de cruzamento, ocorre a mutação, que consiste em alterar alguma característica do indivíduo a qual foi aplicada. A operação de mutação depende de uma probabilidade de mutação gerada aleatoriamente, ou seja, só ocorrerá a mutação nos indivíduos se a probabilidade de mutação for menor que a taxa de mutação definida anteriormente. Para este problema a mutação pode acontecer de duas maneiras. Primeiro calcula-se a probabilidade de mutação, se o indivíduo for escolhido para a mutação, ocorre a troca de dois veículos, escolhidos aleatoriamente, entre dois talhões diferentes. Depois, calcula-se novamente a probabilidade de mutação, se for selecionado, ocorre a troca de dois veículos, escolhidos aleatoriamente, em um mesmo talhão. O algoritmo executa as etapas descritas anteriormente (conforme a Figura 3) até atingir o critério de parada. Para o modelo heurístico proposto o critério de parada escolhido foi o número de gerações utilizado no Algoritmo Genético (N).

4. RESULTADOS NUMÉRICOS

Para a realização deste trabalho foram criados quatro grupos de instâncias para análise do Algoritmo Genético. O primeiro grupo avalia o resultado para diferentes números de veículos; o segundo grupo avalia o resultado para diferentes quantidades de demandas; o terceiro grupo avalia o resultado para variando as distâncias entre os talhões e a fábrica; e o quarto grupo avalia a capacidade do algoritmo em resolver instâncias maiores. O algoritmo foi desenvolvido na linguagem Python, utilizando o ambiente Notepadqq. Os testes foram efetuados em um computador Intel Core i7-4770 3.40 GHz, 8GB de memória RAM, com sistema operacional Ubuntu 18.04. Após experimentos, os parâmetros utilizados no algoritmo genético foram os mesmos para todos os grupos e podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1: Valores utilizados no Algoritmo Genético.

Parâmetro	Valor
Tamanho da População	100
Número de Gerações	1000
Taxa de Mutação	0,1
Probabilidade Definida (k)	0,8

As tabelas seguintes apresentam os resultados de cada grupo. A coluna Instância indica o que se quer avaliar de cada grupo; a coluna Tempo de Processamento indica o tempo que o processador levou para realizar o teste; a coluna Solução Inicial apresenta a solução do problema sem a utilização do Algoritmo Genético. As colunas Melhor Solução, Pior Solução e Média exibem o melhor resultado, o pior resultado e a média, respectivamente, para 10 iterações do programa. O tempo de processamento é representado em segundos e os demais resultados são representados em horas. O tempo de carregamento de cada veículo possui valor de 0,25 horas, sendo constante e o mesmo para todos os grupos.

A instância do primeiro grupo apresenta os resultados para avaliar diferentes números de veículos, simulando o impacto de um aumento ou redução da frota. Neste grupo foi considerado 4 talhões, com demandas de cada talhão definidas em 7, 4, 5 e 6 caminhões,

respectivamente. A distância de cada talhão até a fábrica foi 0,5; 0,33, 0,68 e 0,75, respectivamente. A Tabela 2 apresenta os resultados para cada instância do Grupo 1.

Tabela 2: Resultados obtidos para o Grupo 1

Instância	Veículos	Tempo de Processamento (s)	Solução Inicial (h)	Melhor Solução (h)	Pior Solução (h)	Média (h)
1	4	64,61	6,77	6,52	6,91	6,70
2	6	64,07	4,86	4,5	4,86	4,66
3	8	65,82	3,86	3,50	4,00	3,72
4	10	66,11	4,41	3,04	3,25	3,19
5	12	96,05	2,79	2,75	3,00	2,94

Neste grupo é possível observar melhora em todas as instâncias utilizando o Algoritmo Genético. Para 10 veículos obteve-se um ganho de tempo de 1,37 horas utilizando o algoritmo. É possível observar que o uso de um número reduzido de veículos pode impactar consideravelmente no tempo de atendimento dos talhões. Enquanto, a diferença do tempo de atendimento entre as instâncias com 10 e 12 veículos foi pequena. Assim, nessas condições, para justificar o aumento de 10 para 12 veículos ainda deve ser analisado o custo fixo de cada veículo, que está fora do escopo deste trabalho.

No segundo grupo é apresentado os resultados para diferentes demandas, analisando uma distribuição uniforme ou não entre as demandas dos talhões. A quantidade de veículos utilizada foi 12; a quantidade de talhões igual a 4; a distância de cada talhão até a fábrica foi 0,5, 0,33, 0,68 e 0,75, respectivamente. A Tabela 3 apresenta os resultados para cada instância do Grupo 2.

Tabela 3: Resultados obtidos para o Grupo 2

Instâncias	Demandas	Tempo de Processamento (s)	Solução Inicial (h)	Melhor Solução (h)	Pior Solução (h)	Média (h)
6	7; 4; 5; 6	66,18	4,16	2,86	3,00	2,95
7	7; 7; 7; 7	76,44	5,11	3,36	3,93	3,58
8	10; 10; 5; 5	86,31	7,19	3,49	4,00	3,75
9	10; 10; 2; 2	81,89	6,49	3,00	3,24	3,04

Neste grupo, a Instância com as demandas 10; 10; 5; 5 apresenta a pior solução encontrada utilizando o AG, como esperado. Contudo, ainda assim, o resultado obtido apresenta uma economia de 3,19 horas. Nas instâncias 8 e 9 existem 2 talhões que demandam 10 veículos, assim era esperado que os dois obtivessem o tempo final de atendimento muito próximo. Porém, na instância que contém 2 talhões com uma demanda menor (instância 9), o algoritmo genético proposto conseguiu uma distribuição de forma a reduzir em 30 minutos o tempo final de atendimento.

O terceiro grupo apresenta resultados variando as distâncias entre os talhões e a fábrica. A quantidade de veículos utilizada foi 12; quantidade de talhões igual a 4; a demanda de cada talhão foi 7, 4, 5 e 6, respectivamente. A Tabela 4 apresenta os resultados para cada instância do grupo 3.

Tabela 4: Resultados obtidos para o Grupo 3

Instância	Distância	Tempo de Processamento (s)	Solução Inicial (h)	Melhor Solução (h)	Pior Solução (h)	Média (h)
10	2; 3; 3; 4	73,93	13,50	9,75	11,25	10,52
11	4; 4; 4; 4	70,39	21,25	13,00	13,25	13,20
12	10; 10; 2; 2	73,45	30,50	14,75	15,5	15,07
13	1; 12; 2; 2	73,46	13,00	12,00	12,00	12,00
14	12; 12; 12; 2	68,77	51,50	36,75	36,75	36,75

Neste grupo, as Instância 11, 12 e 13 mostram que o Algoritmo Genético implementado conseguiu uma distribuição entre veículos e talhões de maneira que uma instância, com uma demanda heterogênea (instância 13), obteve um tempo de atendimento relativamente próximo a outra com uma demanda uniforme (instância 4). Isso foi possível devido a capacidade do algoritmo na distribuição das tarefas, desde que a demanda média dos talhões seja próxima.

O quarto grupo apresenta resultados para diferentes escalas, ou seja, avaliam-se diferentes números de veículos, diferentes números de talhões, diferentes demandas e diferentes distâncias. Nesse grupo o objetivo foi avaliar a capacidade do algoritmo em resolver instâncias maiores. Neste teste, as demandas foram escolhidas aleatoriamente dentre de um intervalo de 7 a 12. Adicionalmente, as distâncias também foram aleatórias, em um intervalo entre 6 e 12. A Tabela 5 apresenta os resultados para cada instância do Grupo 4. Nesse grupo podemos constatar a capacidade do Algoritmo Genético em resolver problemas maiores. Por exemplo, destaca-se a instância 29 (com 50 talhões e 40 veículos) que foi resolvida em aproximadamente 18 minutos, que mostra que seria possível o uso do algoritmo em problemas reais.

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho é proposto uma heurística, baseada no algoritmo genético, para a otimização do problema de transporte para a colheita florestal. A principal característica desse problema, no contexto de transporte, é o fato de possuir um depósito, vários clientes e cada cliente possuir várias requisições. Como cada requisição é atendida unicamente por um veículo e cada veículo atende uma requisição por viagem, cada cliente deve receber várias visitas. Assim, para o planejamento é necessário que cada veículo faça várias viagens.

Tabela 5: Resultados obtidos para o Grupo 4

Instância	Instância	Tempo de Processamento (s)	Solução Inicial (h)	Melhor Solução (h)	Pior Solução (s)	Média (h)
15	10 talhões; 20 veículos	255,90	148,25	85,75	103,75	91,9
16	10 talhões; 30 veículos	240,42	124,75	57,00	71,00	65,82
17	10 talhões; 40 veículos	248,02	116,25	49,50	64,50	57,15
18	20 talhões; 20 veículos	439,68	283,25	150,75	160,50	154,57
19	20 talhões; 30 veículos	432,22	264,00	114,25	140,50	123,92
20	20 talhões; 40 veículos	468,79	212,50	100,00	118,50	110,35
21	30 talhões; 20 veículos	693,84	165,25	241,50	263,50	251,50
22	30 talhões; 30 veículos	672,03	167,00	179,75	209,75	192,8
23	30 talhões; 40 veículos	659,58	367,75	156,75	171,00	165,02
24	40 talhões; 20 veículos	873,12	274,25	318,25	352,50	329,65
25	40 talhões; 30 veículos	879,72	257,25	240,00	268,75	256,92
26	40 talhões; 40 veículos	870,59	243,50	184,25	206,75	195,47
27	50 talhões; 20 veículos	1071,34	516,50	418,00	458,50	431,05
28	50 talhões; 30 veículos	1139,79	566,75	295,25	336,75	312,85
29	50 talhões; 40 veículos	1093,30	506,25	223,00	265,50	242,52

Para investigar a otimização do problema da colheita florestal, esse trabalho propõe uma heurística baseada no Algoritmo Genético. No artigo foi descrito a modelagem proposta, para os operadores genéticos de mutação e cruzamento. Nos resultados computacionais foram avaliados 29 instâncias, divididas em 4 grupos, que buscam analisar as soluções obtidas pela heurística em situações diferentes. O primeiro grupo analisa um cenário variando a quantidade

de veículos disponíveis. O segundo grupo analisa diferentes padrões de demanda nos talhões. O terceiro investiga a variação de distâncias entre os talhões e a fábrica. E finalmente, o quarto grupo avalia a escalabilidade da heurística para verificar se seria possível implantar o método proposto para a solução de problemas reais.

Nos experimentos constatou-se a capacidade do Algoritmo Genético proposto em distribuir as tarefa dos veículos, de forma a tratar desbalanceamento de carga e distância entre os talhões. Além disso, como a heurística obteve uma solução de boa qualidade para instâncias com até 50 talhões e 40 veículos, em um tempo computacional viável (aproximadamente 18 minutos), pode-se considerar que esse seria capaz de ser utilizada em problemas reais. Para trabalhos futuros, propõe-se o desenvolvimento de um modelo de programação linear inteira para obter soluções ótimas e quantificar a qualidade das soluções obtidas pela heurística.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Lachini, Edson et al. Pesquisa Operacional na Minimização de Custos de Transporte Florestal. *Revista Brasileira de Biometria*, [S.l.], v. 36, n. 2, p. 473-488, 2018.
- Silva, Pedro H. B. M., Planejamento Otimizado da Colheita Florestal por Blocos e Talhões Integrado à Rede de Estradas, *Dissertação apresentada ao Programa de Pósgraduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná*, 2015.
- Rudez, Alynne, Planejamento de Colheita de Madeira em Região Montanhosa com Uso de Modelagem Espacial e Programação Linear Inteira, *Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste*, 2015.
- Bassoli, Hilda M., et al. Logística da Colheita Florestal: Rendimento Operacional do Feller Buncher em Florestas de Eucalyptus, *5ª Jornada Científica e Tecnológica da FATEC*, 2016.
- Sousa, R. A. T. de M., et al. Utilização de programação linear na análise do transporte principal de madeira, *Multitemas*, Campo Grande, MS, n. 41, p. 73-88, 2012
- Silva, P.H., et al, Otimização Operacional de Impacto Reduzido no Corte Sletivo de uma Floresta Inequiânea, *Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, Natal – RN, 2013
- Lachini, E., et al, Pesquisa Operacional na Minimização de Custos de Transporte Florestal, *Rev. Bras. Biom.*, Lavras, v.36, n.2, p.473-488, 2018.
- Vieira, G. C., Modelagem Matemática do Transporte de Máquinas em Florestas de Produção, *Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal do Espírito Santo*, 2018.
- Mitchell, M. An introduction to genetic algorithms. Cambridge: Mit, Press. 1997. Machado, C. C.; Lopes, E. S. Planejamento. In: MACHADO, C. C. Colheita florestal. 3. ed. Viçosa: Editora UFV, 2014. p. 206-252.
- Malinovski, J. R. Colheita de madeira, transporte florestal e integração com a cadeia produtiva. *Revista Opiniões* 2008, Ribeirão Preto, Set-Nov. 2008.
- Parise, D. J. Influência dos requisitos pessoais especiais no desempenho de operadores de máquinas de colheita florestal de alta performance. 2005. 159 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.
- Pulkki, R.E. Glossary of forest harvesting terminology. Disponível em: <flash.lakeheadu.ca/~repulkki/REP_terminology.pdf>. Acesso em: 10 jul, 2019

Ana Paula Martins Guimarães Mutz (anapdiasguimaraes@gmail.com)

Leandro Colombi Resendo (leandro@ifes.edu.br)

Bacharelado em Sistema de Informação, Serra, Instituto Federal do Espírito Santo

Rodovia ES-010 - Km 6,5 – Mangueiros, CEP: 29173 - 087 - Serra - ES

Rodrigo de Alvarenga Rosa (rodrigo.a.rosa@ufes.br)

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo

Av. Fernando Ferrari, 514, Goiabeiras – Vitória, ES, Brasil