



METAHEURÍSTICAS PARA O PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO FLORESTAL: ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE ALGORITMO GENÉTICO E BUSCA TABU

Erick Sena Godinho⁽¹⁾ Fernando Marcos Souza Silva⁽²⁾ Dirlene Aparecida Almeida e Silva⁽³⁾

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise comparativa entre o Algoritmo Genético e a Busca Tabu no planejamento da produção florestal, com o objetivo de maximizar o Valor Presente Líquido em uma floresta de eucalipto composta por 120 talhões e 81 prescrições de manejo, ao longo de 16 anos. Diante dos desafios do setor florestal brasileiro, como altos custos e complexidade combinatória, essas metaheurísticas se mostram ferramentas valiosas para otimizar decisões, respeitando restrições operacionais e ambientais. Com base nos dados de Júnior et al. (2021), os algoritmos foram avaliados em três cenários com diferentes demandas anuais, considerando penalizações por desvios. Os resultados indicaram que a Busca Tabu superou o Algoritmo Genético em dois cenários, enquanto no terceiro, com restrições mais severas, ambos apresentaram desempenho semelhante. Assim, a Busca Tabu demonstrou ser mais eficaz em contextos menos restritivos, contribuindo para equilibrar lucro e sustentabilidade no setor florestal. Futuros estudos podem explorar outras metaheurísticas para aprimorar ainda mais a gestão sustentável das florestas brasileiras.

Palavras-chave: Metaheurísticas. Busca Tabu. Algoritmo Genético. Planejamento Florestal.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o setor de florestas plantadas é um dos pilares do agronegócio e da indústria de base, contribuindo significativamente para a geração de empregos, arrecadação de tributos e fornecimento de matérias-primas renováveis (JUVENAL; MATTOS, 2002). Quando bem planejada, essa atividade pode aliar produtividade à sustentabilidade, promovendo o uso racional dos recursos naturais. No entanto, sua gestão envolve desafios técnicos relevantes, como altos custos de colheita e transporte, ciclos produtivos longos e múltiplas variáveis que, se mal administradas, podem comprometer tanto os resultados econômicos quanto a capacidade de regeneração das áreas exploradas (TAMPEKIS et al., 2024).

¹ Aluno de Sistemas de Informação no IFMG campus São João Evangelista

² Mestre em Modelagem Computacional e Sistemas, atuando no IFMG campus São João Evangelista

³ Mestre em Educação, atuando no IFMG campus São João Evangelista



Diante disso, este trabalho propõe um estudo comparativo entre o desempenho do Algoritmo Genético (*Genetic Algorithm - GA*) e o Busca Tabu (*Tabu Search - TS*) em problemas de produção florestal. O objetivo desse trabalho é analisar, com base em critérios técnicos como a qualidade e a consistência dos resultados, qual dessas abordagens se mostra mais adequada para lidar com os desafios reais do setor florestal, considerando suas restrições de produção, alocação de recursos eficientes e a busca pela maximização do valor econômico da colheita.

2 DESENVOLVIMENTO

Este capítulo possui o objetivo de apresentar a revisão bibliográfica que embasa o desenvolvimento dessa pesquisa, além de descrever os materiais e métodos utilizados.

2.1 Revisão Bibliográfica

O planejamento da produção florestal é uma atividade estratégica que envolve decisões complexas, influenciadas por fatores biológicos, econômicos e ambientais. A área de cultivo é dividida em talhões, unidades de manejo com características próprias, onde cada um pode seguir diferentes estratégias ao longo do tempo, como corte raso, desbaste ou adiamento da colheita. Essas decisões são tomadas dentro de um horizonte de planejamento, geralmente anual, e precisam respeitar restrições legais, operacionais e ambientais (NOBRE, 1999).

À medida que o número de talhões e alternativas de manejo cresce, o problema se torna altamente combinatório, apresentando um número exponencial de combinações possíveis, tornando inviável o uso de métodos exatos. Um dos principais critérios utilizados para orientar essas decisões é o Valor Presente Líquido (VPL). O VPL representa o valor atual de todos os fluxos futuros de receitas e custos, considerando uma taxa mínima de atratividade, permitindo assim avaliar financeiramente cada estratégia de manejo, ajudando a selecionar aquelas que maximizam o retorno econômico da floresta (RODRIGUES, 2016).

Este trabalho estabelece um diálogo com o estudo de Barral, Cosme e Lacerda (2023), que propôs uma heurística voltada à geração de soluções válidas para o mesmo problema de planejamento da produção. Na pesquisa desses autores, o desempenho da heurística



desenvolvida é comparado com o de outros métodos, incluindo o Algoritmo Genético (GA), o Algoritmo de Seleção Clonal (CLONALG) e a Busca em Vizinhaça Variável (*Variable Neighborhood Search* – VNS).

2.2 Características da Base de Dados

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi utilizada uma base de dados proveniente do estudo de Júnior *et al.* (2021), referente a uma floresta de eucalipto. A área foi dividida em 120 talhões e foram consideradas 81 prescrições de manejo por unidade ao longo de um horizonte de 16 anos. A estrutura contempla informações como idade inicial, volume anual de produção e o VPL de cada alternativa. Mais detalhes podem ser obtidos em Barral *et al.* (2023).

2.3 Experimentos, Resultados e Discussões

Nesta etapa, foram aplicadas duas metaheurísticas clássicas: o GA e a TS, ambas adaptadas às particularidades do problema. A função objetivo foi formulada para maximizar o VPL total da floresta, com penalização de R\$500,00 por metro cúbico produzido fora dos limites mínimos e máximos anuais, garantindo estabilidade e respeito às restrições operacionais.

O GA utilizou população de 120 indivíduos, cruzamento com probabilidade de 0,80, mutação de 0,01, elitismo com 5 indivíduos e torneio entre 5 candidatos. Já a TS operou com lista tabu de tamanho 5, impedindo a repetição de movimentos recentes. Ambos os algoritmos foram executados 30 vezes, com limite de 150.000 avaliações da função objetivo por execução. Os melhores indivíduos de cada rodada foram registrados para análise comparativa.

Os algoritmos foram testados em três cenários distintos, definidos por diferentes faixas de demanda anual mínima (D_{min}) e máxima (D_{max}), sendo elas o cenário 1 com D_{min} igual a 140.000 m³ e D_{max} 160.000 m³, o cenário 2 com D_{min} igual a 140.000 m³ e D_{max} 150.000 m³ e o cenário 3 com D_{min} igual a 150.000 m³ e D_{max} 160.000 m³.

Para a análise dos resultados e comparação entre os algoritmos, foram aplicados testes estatísticos adequados à distribuição das amostras. Inicialmente, foi realizado o teste de normalidade de Shapiro-Wilk. Para os casos em que a normalidade não foi confirmada,



utilizou-se o teste de Mann-Whitney U; já para amostras normalmente distribuídas, foi aplicado o teste t de Welch. Conforme apresentado na Figura 1 e na Tabela 1, os resultados indicam que, nos cenários 1 e 3, a TS apresentou desempenho estatisticamente superior ao GA. No entanto, no cenário 2, a baixa variabilidade entre os resultados não permite afirmar com segurança a superioridade de um algoritmo sobre o outro.

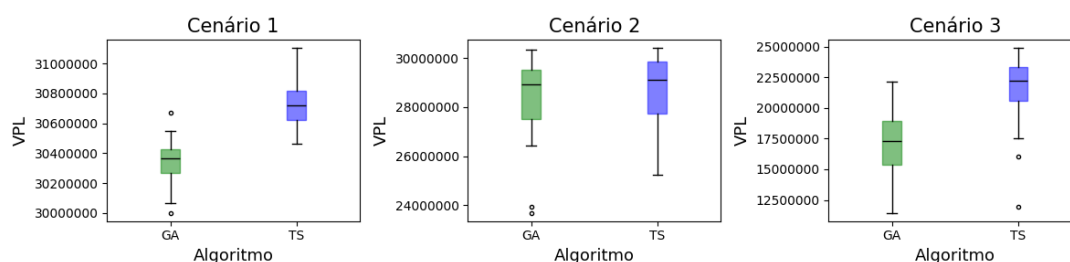


Figura 1- Comparação entre os melhores resultados de VPL das 30 execuções em cada cenário estudado. Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 1 – Resultado dos algoritmos em cada cenário estudado contendo o método utilizado, o VPL médio e o desvio padrão no final das 30 execuções.

Método	Média	Desvio Padrão
Cenário 1		
GA	30350938	141313
TS	30727753	150211
Cenário 2		
GA	28403246	1678828
TS	28667805	1496066
Cenário 3		
GA	17041885	2732613
TS	21557194	2698425

Fonte: Elaborado pelo autor.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao término do estudo, foi constatado que a TS superou o GA nos cenários 1 e 3, apresentando resultados mais consistentes e com maior VPL. No cenário 2, com demandas mais estritas, ambos os métodos mostraram desempenhos semelhantes, sugerindo que condições mais restritivas podem limitar sua eficiência. Esses achados impactam diretamente o setor florestal, ao oferecer uma ferramenta que equilibra retorno econômico e



sustentabilidade, respeitando limites operacionais e ambientais. Portanto, é recomendado priorizar a TS em situações semelhantes aos cenários 1 e 3, considerando ajustes ou métodos híbridos para cenários mais desafiadores. Estudos futuros também podem explorar outras metaheurísticas (com ou sem mecanismos de busca local) e bases de dados variadas, visando soluções ainda mais eficazes para a gestão sustentável das florestas brasileiras.

REFERÊNCIAS

- BARRAL, I. A.; COSME, L. B.; LACERDA, A. S. M. **Proposta de heurística para a geração de soluções válidas para um problema de planejamento da produção florestal.** Revista da Universidade Federal de Minas Gerais, v. 30, 2023. ISSN 2965-6931. Disponível em:
<<https://periodicos.ufmg.br/index.php/revistadaufmg/article/view/46940>>. Acesso em: 07 jul. 2025.
- JUVENAL, T. L.; MATTOS, R. L. G. **O setor florestal no Brasil e a importância do reflorestamento.** set. 2002. Disponível em:
<<http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/3142>>. Acesso em 7 jul. 2025.
- JÚNIOR, C. A. A.; CASTRO, R. V. O.; MENDES, J. B.; LEITE, H. G. **Can linear programming assist metaheuristics in forest production planning problem?** 2021. ISSN 1982-4688. Disponível em:
<<https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/52146>>. Acesso em: 7 jul. 2025.
- NOBRE, S. R. **A heurística da razão-r aplicada a problemas de gestão florestal.** 1999.
- RODRIGUES, M. I. **Categoria Profissional 3º Lugar: Análise financeira de investimentos em concessão florestal por meio de métodos determinísticos e estocásticos.** 2016. Disponível em:
<<http://repositorio.enap.gov.br/jspui/handle/1/6861>>. Acesso em: 15 jul. 2025.
- TAMPEKIS, S. et al. **Conceptualizing forest operations planning and management using principles of functional complex systems science to increase the forest's ability to withstand climate change.** Land, v. 13, n. 2, 2024. ISSN 2073-445X. Disponível em:
<<https://www.mdpi.com/2073-445X/13/2/217>>. Acesso em: 8 jul. 2025