

APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP-GAUSSIANO PARA ORDENAÇÃO DE MOTONIVELADORA (PATROL) PARA REALIZAÇÃO DE TERRAPLENAGEM DE TERRENOS E DE ESTRADAS DE TERRA

Bruno Pereira Diniz (UFCG-CDSA) *brunopereiradiniz046@gmail.com*

Daniel Augusto De Moura Pereira (UFCG-CDSA) *danielmoura@ufcg.edu.br*

João Cavalcanti Neto (UFCG-CDSA) *joao.cavalcanti@estudante.ufcg.edu.br*

Guilherme Nascimento Araújo (UFCG-CDSA) *guilherme1803gui@gmail.com*

Jordan Matheus Barbosa Araújo (UFCG-CDSA) *jordan_barbosa517@hotmail.com*

Rhuan do Espírito Santo e Silva (UFCG-CDSA) *rhuan.espirito@estudante.ufcg.edu.br*

Resumo

O presente artigo tem como objetivo apresentar o ranqueamento de motoniveladoras (Patrol), que são máquinas de construções robustas e versáteis utilizadas principalmente para nivelar e preparar superfícies de terra. Elas desempenham um papel fundamental na construção e manutenção de estradas, vias urbanas, aeroportos e outros projetos de infraestrutura. Portanto, a partir do método AHP-Gaussiano foi feita a aplicação com a utilização de critérios quantitativos e com as melhores alternativas do mercado de acordo com a popularidade de cada marca no ramo de máquinas de terraplanagem. O método utilizado apresentou de maneira organizada o ranqueamento das motoniveladoras mais favoráveis, as mais bem avaliadas foram, a New Holland – RG200 como primeiro lugar, a Case – 885B na segunda colocação e na terceira posição a Caterpillar – 160M.

Palavras-Chaves: *AHP-Gaussiano. Motoniveladora. Terraplanagem. Método Multicritério.*

1. Introdução

As motoniveladoras são máquinas essenciais na indústria da construção, desempenhando um papel vital na preparação de terrenos para a construção de estradas e outras infraestruturas. Sua capacidade de nivelamento preciso e sua robustez tornam-na uma ferramenta indispensável para obter superfícies planas e uniformes, melhorando a segurança e a qualidade das vias e estradas por onde transitamos diariamente.

Além disso, as motoniveladoras geralmente possuem pneus grandes e potentes motores a diesel, que fornecem tração e potência suficientes para lidar com terrenos difíceis. Muitos modelos

também são equipados com uma cabine confortável e ergonômica para o operador, proporcionando boa visibilidade e controles fáceis de usar.

Um dos principais recursos da motoniveladora é a lâmina central, localizada no centro da máquina. Essa lâmina pode ser ajustada verticalmente para controlar a profundidade do corte e nivelar o solo com precisão. Atrás da lâmina central, há uma barra de tração ou escarificador, que pode ser usada para soltar e remover camadas de solo compactado, facilitando o trabalho de nivelamento.

O Apoio Multicritério à Decisão (AMD) é uma técnica utilizada para ajudar a tomar decisões complexas, onde há vários critérios e objetivos a serem considerados. Ele permite avaliar e comparar diferentes opções de acordo com critérios quantitativos e qualitativos, e fornece uma visão geral dos resultados para ajudar a identificar a melhor escolha.

Para Gomes e Gomes (2019), os métodos AMD, podem ser compreendidos como técnicas que viabilizam ao decisor (seja indivíduo, grupos ou organizações) a estruturação e análise de problemas complexos de avaliação de forma transparente, com a introdução de critérios quantitativos e qualitativos, em casos específicos, havendo trade-off entre eles.

Esses métodos permitem aos agentes decisores estruturarem um processo decisório, considerando vários aspectos de avaliação, tais como técnicos, socioeconômicos e ambientais por exemplo, em níveis operacionais e estratégicos para tomada de decisão (Greco; Figueira; Ehrgott, 2016)

O presente trabalho teve o objetivo de auxiliar os patroleiros de pavimentação, condutores de motoniveladora e conservadores de estradas de rodagem, a partir do método já citado anteriormente, levando em consideração cinco critérios de decisão que irão definir a melhor escolha, por meio da comparação entre os cinco tipos de máquinas em análise.

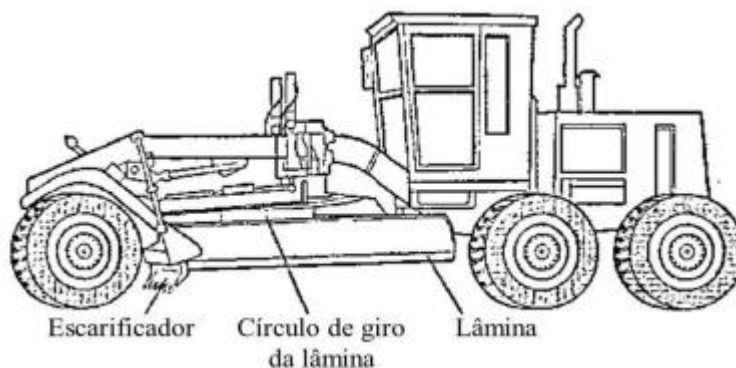
2. Referencial Teórico

2.1. Equipamento Motoniveladora (Patrol)

As motoniveladoras (Figura 1) são equipamentos extremamente versáteis, devido a possibilidade de serem utilizadas na execução das mais diversas tarefas. A ISO 6165:2012 a define como uma máquina autopropulsora de rodas que possui uma lâmina regulável localizada

entre os eixos dianteiro e traseiro, que pode ser equipada com uma lâmina montada na dianteira ou escarificador que também pode estar localizado entre os eixos dianteiro e traseiro.

Figura 1 – Motoniveladora e seus equipamentos



Fonte: Peurifoy et al. (2010)

Baesso e Gonçalves (2003) acrescentam que a mesma é também conhecida como Patrol e possui uma movimentação livre em quase todos os sentidos de modo a permitir seu emprego nas mais variadas posições, constituindo-se em instrumento indispensável a quase todos os serviços envolvendo terraplenagem de um modo geral.

2.2. Método Apoio Multicritério à Decisão

Um método AMD é caracterizado por um processo de análise de tomada de decisão avaliando alternativas a partir de múltiplos critérios de avaliação, identificando as preferências do decisor e viabilizando a utilização dessas informações para a estruturação de um modelo de preferência agregada (Cinelli, 2017).

Ainda abordado por Greco, Ehr Gott e Figueira (2016), toda disciplina desenvolvida nas áreas da PO e Engenharia de Decisão, e que especificamente buscam dar suporte a uma avaliação de alternativas, analisadas com relação a um conjunto de critérios, podem ser reconhecidas como avaliações AMD.

2.3. AHP-Gaussiano

O método multicritério Analytic Hierarchy Process – Gaussian (AHP-Gaussiano), foi introduzido por Santos, Costa e Gomes (2021), onde visa uma nova abordagem ao método original AHP, que se baseia em uma análise de sensibilidade proveniente do fator Gaussiano.

Com essa abordagem é possível obter os pesos dos atributos a partir de inputs quantitativos das alternativas em seus respectivos atributos, a partir dos dados inseridos na matriz de decisão (Santos; Costa; Gomes, 2021).

O método visa acabar com a dependência que existe da matriz de avaliação entre os critérios, eliminando a necessidade de avaliação par a par entre os atributos na obtenção dos seus respectivos pesos, onde os cálculos incluem a média e o desvio padrão para a alcance da ordenação das alternativas. O AHP-Gaussiano pertence aos métodos compensatórios, os atributos são independentes e os atributos qualitativos são convertidos em atributos quantitativos (Santos; Costa; Gomes, 2021).

Etapas do método AHP-Gaussiano (Lima; Santos; Pereira; Gomes, 2021):

- 1) A primeira etapa do método é estabelecer a matriz de decisão, com as alternativas e critérios a serem julgados no processo decisório;
Após estabelecer a matriz de decisão, é realizada a normalização dos atributos, para valores que se queira maximizar, monotônico de lucro, utiliza-se a fórmula (1).

$$N = \frac{a_{ij}}{\sum a_{ij}} \quad (1)$$

Para valores que se queira minimizar, monotônico de custo, utiliza-se a fórmula (2).

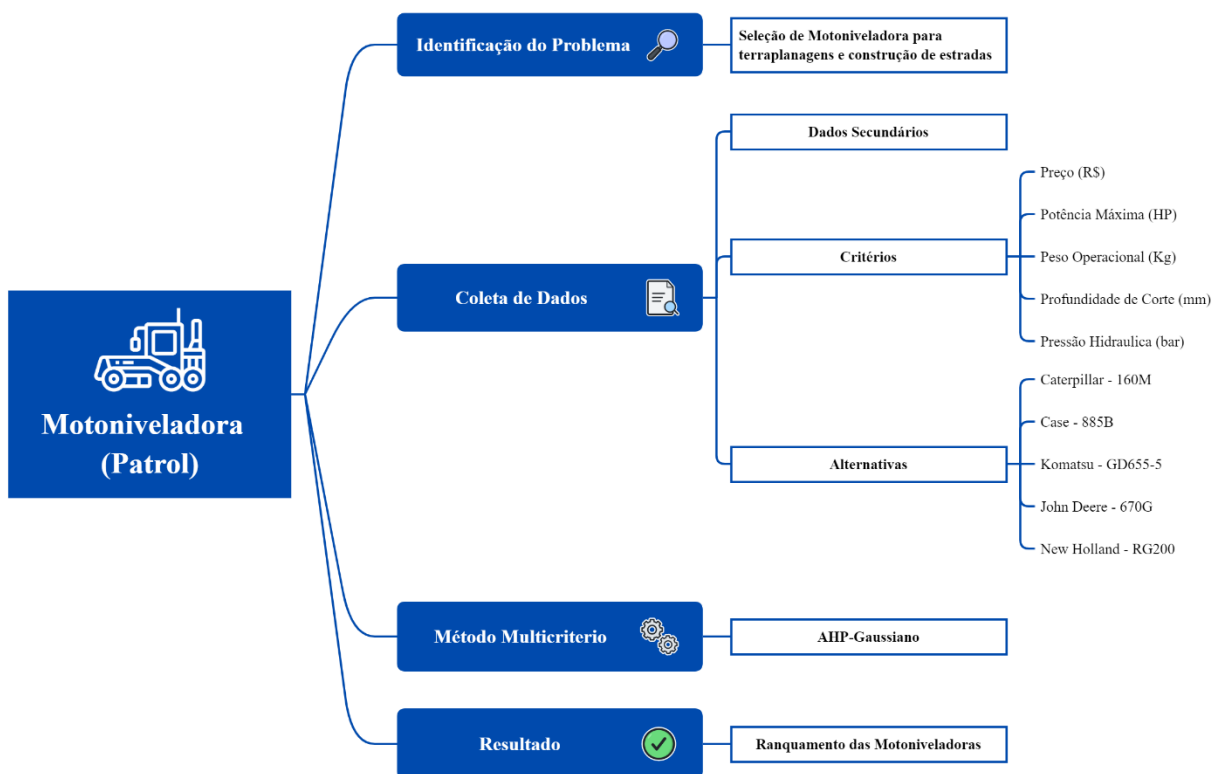
$$N = \frac{\left(\frac{1}{a_{ij}}\right)}{\left(\frac{\sum a_{ij}}{a_{ij}}\right)} \quad (2)$$

- 2) A segunda etapa é calcular a média das alternativas;
- 3) A terceira etapa é calcular o desvio padrão de cada alternativa para cada critério;
- 4) A quarta etapa é calcular o fator Gaussiano para cada critério;
- 5) A quinta etapa é multiplicar o fator Gaussiano pela matriz de decisão
- 6) A sexta etapa consiste na normalização dos resultados; e
- 7) Na sétima etapa é obtido a ordenação das alternativas

3. Metodologia

Trata-se de uma pesquisa quantitativa de caráter exploratória e que seguiu o seguinte fluxograma metodológico para sua realização, conforme mostra a Figura 2.

Figura 2 – Fluxograma Metodológico



Fonte: Autores (2023)

A partir da identificação do problema, a seleção da motoniveladora (Patrol) para terraplanagens e construção de estradas de terra, elencou-se os critérios quantitativos, a saber: Preço, Potência Máxima, Peso Operacional, Profundidade de Corte e Pressão Hidráulica.

Em seguida, foi indicada uma pré-seleção de alternativas viáveis, de acordo com os critérios, e cinco modelos de motoniveladoras foram indicados para o modelo de decisão: Caterpillar–160M, Case–885B, Komatsu–GD655-5, John Deere–670G e New Holland–RG200.

Por fim, o método de Análise de Decisão Multicritério definido para apoiar a decisão de seleção das motoniveladoras (Patrol) foi o AHP-Gaussiano através da planilha em Excel (Baldini, 2021). A seleção da motoniveladora deveu-se à encomenda da melhor alternativa apresentada no método mencionado acima.

4. Resultados e Discussão

4.1. Seleção das Motoniveladoras

Para o desenvolvimento do trabalho foram selecionados cinco tipos de motoniveladoras, que são detalhados a seguir:

Como mencionado anteriormente no artigo, foram selecionadas a Patrol Caterpillar – 160M (Figura 3), a Patrol Case – 885B (Figura 4), a Patrol Komatsu – GD655-5 (Figura 5), a Patrol John Deere – 670G (Figura 6) e a Patrol New Holland – RG200 (Figura 7).

As alternativas e os critérios, pré-selecionados de acordo com a importância para o operador da máquina:

- **Alternativas:** (A1) Caterpillar – 160M; (A2) Case – 885B; (A3) Komatsu – GD655-5; (A4) John Deere – 670G; e (A5) New Holland – RG200.
- **Critérios:** (C1) Preço (R\$); (C2) Potência Máxima (HP); (C3) Peso Operacional (Kg); (C4) Profundidade de Corte (mm); e (C5) Pressão Hidráulica (bar).

Figura 3 – Motoniveladora – Caterpillar – 160M



Fonte: CATERPILLAR “S.D.”

Figura 4 – Motoniveladora – Case – 885B



Fonte: CASE “S.D.”

Figura 5 – Motoniveladora – Komatsu – GD655-5



Fonte: KOMATSU “S.D.”

Figura 6 – Motoniveladora – John Deere – 670G



Fonte: JOHN DEERE “S.D.”

Figura 7 – Motoniveladora – New Holland – RG200



Fonte: NEW HOLLAND “S.D.”

4.2. Aplicação do AHP-Gaussiano

A primeira etapa da aplicação do método para a escolha da Patrol é inserir as alternativas e os critérios na matriz de decisão, conforme mostra a Tabela 1. A próxima etapa é realizar a normalização da matriz de decisão, Tabela 2.

Tabela 1 – Matriz de Decisão

Tipo	MIN	MAX	MIN	MAX	MAX
	Preço (R\$)	Potência Máxima (HP)	Peso Operacional (Kg)	Profundidade de Corte (mm)	Pressão Hidráulica (bar)
160M	1.500.000,00	251	16.820	750	241
885B	1.096.000,00	219	18.050	711,2	220
GD655-5	1.300.000,00	218	18.400	615	205
670G	1.055.467,10	240	19.300	335	189,61
RG200	1.019.505,49	234	19.070	711	209

Fonte: Autor (2023)

Tabela 2 – Matriz de decisão normalizada

	Preço (R\$)	Potência Máxima (HP)	Peso Operacional (Kg)	Profundidade de Corte (mm)	Pressão Hidráulica (bar)
160M	0,155886284	0,216006885	0,217414813	0,240215233	0,226373977
885B	0,213348017	0,188468158	0,202599288	0,227788098	0,206648444
GD655-5	0,179868789	0,187607573	0,198745497	0,196976491	0,192558777
670G	0,221541179	0,206540448	0,189477573	0,107296137	0,178102779
RG200	0,22935573	0,201376936	0,191762829	0,227724041	0,196316022

Fonte: Autor (2023)

Após realizar a normalização, a próxima etapa é o cálculo da média, desvio padrão e do Fator Gaussiano, e a normalização do Fator Gaussiano, como apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Média, Desvio Padrão, Fator Gaussiano e Fator Gaussiano Normalizado

Média	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Desvio Padrão	0,031045275	0,012118678	0,011069985	0,054224564	0,017945893
Fator Gaussiano	0,155226376	0,060593388	0,055349923	0,271122822	0,089729463
Fator G. Norma.	0,245602815	0,09587228	0,087575948	0,428976894	0,141972063

Fonte: Autor (2023)

A partir da multiplicação do Fator Gaussiano Normalizado com a Matriz Normalizada, é gerado a ordenação das alternativas, como mostra a Tabela 4.

Tabela 4 – Ordenação AHP-Gaussiano

AHP-G	%	RANK
0,21322	21,32%	3
0,21526	21,53%	2
0,1914	19,14%	4
0,16212	16,21%	5
0,21799	21,80%	1

Fonte: Autor (2023)

A alternativa proposta pelo AHP-Gaussiano é a New Holland – RG200, com 21,80%, seguida pela Case – 885B, com 21,53%, depois vem a Caterpillar – 160M com 21,32%, em penúltimo lugar ficou a Komatsu – GD655-5 com 19,14% e em último lugar ficou a John Deere – 670G.

5. Considerações Finais

O estudo desenvolvido teve por objetivo, estar apresentando um caso em que a aplicação de um método de Apoio Multicritério à Decisão pode ter alto impacto para a área de construção e pavimentação do Brasil, com a ordenação das máquinas de terraplanagem.

Outra vez o método AHP-Gaussiano, mostra sua eficiência, a partir do momento em que habilita operar dados de natureza quantitativa de forma equivalente quanto as análises e resultados. A planilha em Excel através de macros em VBA apresenta sua robustez entregando uma obtenção de normalização, média, desvio padrão e fator gaussiano de forma bem estruturada e uma análise de resultados de ordenação de preferência.

Para o setor de construção e de pavimentação, espera-se que este trabalho sirva para apoiá-los em uma tomada de decisão relacionada ao reconhecimento de quais motoniveladoras são as mais favoráveis em uma aplicação eficiente e eficaz em suas operações nas construções de estradas e terraplanagem de terrenos.

REFERÊNCIAS

BAESSO, D. P. e GONÇALVES, F. L. R.(2003) Estradas Rurais, Técnicas Adequadas de Manutenção. Florianópolis, Brasil.

BALDINI, Fabio; SANTOS, Marcos.; COELHO, Leandro dos Santos; MARIANI, Viviana Cocco. AHP-GAUSSIANO em VBA (v.1) 2021.

CINELLI, M. The Art of Supporting Decision-Making. Exchanges: The Interdisciplinary Research Journal, v. 4, n. 2, p. 298, 2017.

GOMES, L. F. A. M., e GOMES, C. F. S. Princípios e métodos para a tomada de decisão: Enfoque multicritério (6a ed.). São Paulo: Atlas. (2019).

GRECO, S.; EHRGOTT, M.; FIGUEIRA, J. R. Multiple Criteria Decision Analysis State of the Art Surveys. Second edi ed. New York: Springer, 2016.

GRECO, S.; EHRGOTT, M.; FIGUEIRA, J. R. Multiple Criteria Decision Analysis State of the Art Surveys. Second edi ed. New York: Springer, 2016.

ISO 6165 (2012), Earth-moving machinery - Basic types - Identification and terms and definitions.



XII SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

“A contribuição da Engenharia de Produção para alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU.”

Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil – 24 a 26 de Maio de 2024.

LIMA, Brayan de Almeida; SANTOS, Marcos dos; PEREIRA, Daniel Augusto de Moura; GOMES, Andrei Eduardo de Sousa. Proposta De Um Framework Para Seleção De Um Chassi De Ônibus Urbano: Uma Abordagem A Partir Do Quadro De Tomada De Decisões E Dos Métodos AHP E AHP-Gaussiano. REVISTA SIMEP, 2021.

SANTOS, Marcos dos; COSTA, Igor Pinheiro de Araujo; GOMES, Carlos Francisco Simões. Multicriteria decision-making in the selection of warships: a new approach to the AHP method. International Journal of the Analytic Hierarchy Process, 13(1). 2021.

SOARES, Maria Edjane da Silva. Desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão na seleção de motoniveladoras para a execução de obras de terraplenagem e de pavimentação. 2015.