



## Plano Nacional de Logística 2035: seleção dos dormentes ferroviários utilizando o método PrOPPAGA

Felipe Barbosa dos Santos<sup>1</sup>; Marcos dos Santos<sup>2</sup>

**Resumo:** O Plano Nacional de Logística 2035 está sendo desenvolvido com o objetivo de elaborar o planejamento estratégico para a movimentação de cargas e mitigar a atual sobrecarga do modal rodoviário. É esperado que sejam feitos investimentos na ampliação da malha ferroviária e com isso, a escolha do tipo de dormentes a serem utilizados nestas novas vias férreas ganha relevância por impactar nos gastos públicos. O artigo utiliza o método de Apoio Multicritério à Decisão PrOPPAGA para ordenar as alternativas disponíveis no mercado atualmente e conclui que a melhor opção apresentada é a de dormente em concreto, que alia boa vida útil a custos medianos. Esta estruturação da ordenação contribui com a sociedade ao permitir a salvaguarda de recursos públicos, levando em consideração critérios conflitantes.

**Palavras-chave:** AMD; Dormente ferroviário; Plano Nacional de Logística 2035; PrOPPAGA.

**Abstract:** The "National Logistics Plan 2035" is being developed to elaborate the strategic planning for the handling of cargo and mitigating the current overload of the road modal. It is expected that investments will be made in the expansion of the railway network and with this, the choice of the type of sleepers to be used on these new railways gains relevance as it impacts public spending. The article uses the Multicriteria Decision Support method "PrOPPAGA" to organize the alternatives currently available in the market and concludes that the best option presented is the concrete sleeper, which combines a good lifespan with medium costs. This structuring of the ordering of alternatives contributes to society by allowing the safeguarding of public resources, considering conflicting criteria.

**Keywords:** MCDA; Railway sleeper; National Logistics Plan 2035; PrOPPAGA.

---

<sup>1</sup> Instituto Militar de Engenharia (IME) - felipe.barbosa@ime.eb.br

<sup>2</sup> Centro de Análises de Sistema Navais (CASNAV) – marcos.santos@marinha.mil.br

## 1. Introdução

Segundo a Empresa de Planejamento e Logística (EPL) (2020), através do Plano Nacional de Logística e Transportes (PNLT), os recursos públicos para a modernização e a construção de novas infraestruturas de transporte devem ser utilizados de forma responsável e com a maior abrangência possível. Por esse motivo, um planejamento bem elaborado é necessário para indicar as intervenções no sistema logístico nacional de maneira ampla, racional e transparente.

Dessa forma está sendo desenvolvido o Plano Nacional de Logística 2035 com o objetivo de elaborar o planejamento estratégico para a movimentação das cargas, considerando os diversos modos de transportes, o que permitirá identificar as necessidades e as oportunidades de investimento a médio e a longo prazo, provendo o País de um sistema integrado, eficiente e competitivo, no que diz respeito à infraestrutura do setor de transporte.

A intenção da EPL é fazer com que o resultado desse processo de planejamento possa ser utilizado como uma ferramenta não apenas para os formuladores de políticas públicas (nas esferas federal, estadual e municipal), mas, também, como um instrumento para o balizamento das tomadas de decisões dos investidores, de forma a melhorar a previsibilidade dos investimentos em infraestrutura de transportes.

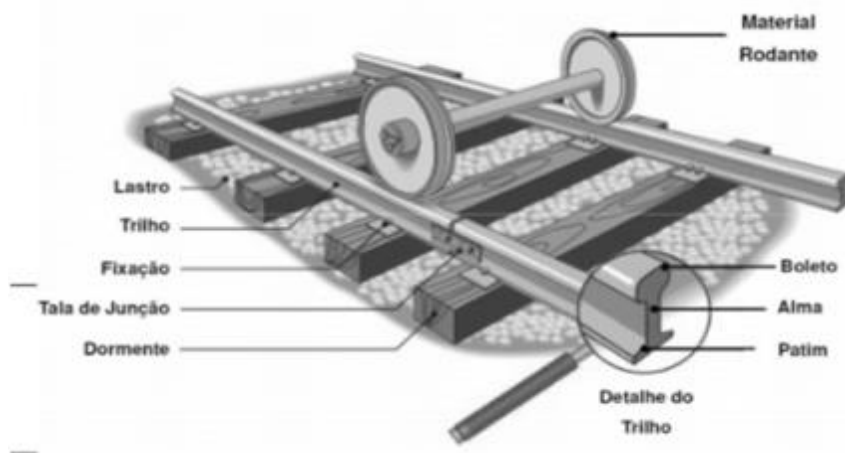
No entanto, a partir de estudos iniciais divulgados pela EPL, é observado que existe uma sobrecarga no modal rodoviário. O PNLT busca equalizar a utilização dos diferentes tipos de modais, fazendo com que os gargalos que existem no meio rodoviário sejam mitigados ou extintos. Dessa forma é de se esperar que a EPL efetue compras oportunas levando em conta poucos critérios bem como “preço” e “qualidade” para investimentos nos modais.

O artigo tem como objetivo selecionar um dormente para compra mediante a uso do método de Apoio Multicritério à Decisão (AMD) PrOPPAGA (Prioridade Observada a Partir da Presunção de Atitude Gaussiana das Alternativas), devendo apresentar a alternativa que “melhor” se adeque aos futuros investimentos na malha férrea brasileira. Com isso, o estudo levou em consideração uma gama de materiais já utilizados na produção de dormentes, a partir do referencial abordado por Piazero (2017). Espera-se contribuir com a sociedade ao estruturar uma análise comparativa entre as alternativas disponíveis no mercado, conferindo argumentos para uma tomada de decisão criteriosa e, com isso, salvaguardar recursos públicos.

## 2. Referencial teórico

Os dormentes são elementos estruturais ferroviários que dão suporte aos trilhos e fixam a distância entre eles (Figura 1). Um dormente deve ter boa resistência, durabilidade e alguma elasticidade (BORGES NETO, 2012). O principal tipo de dormente e mais utilizado no Brasil é o de madeira, pois apresenta muitas características propícias. No entanto, devido à falta de madeira e as questões ambientais, o seu uso está diminuindo. Buscaram-se outros materiais para essa função, como aço, concreto e alguns polímeros, cada um possuindo vantagens e desvantagens. Conciliar o uso desses materiais pode melhorar o desempenho/custo de uma via ferroviária. As opções que estão sendo analisadas neste estudo, são apresentadas nas subseções 2.1 a 2.5.

**FIGURA 1 - Trilho ferroviário**



Fonte: (LIMA E SILVA, 2019)

### **2.1. Dormente em madeira**

A madeira apresenta as seguintes propriedades mecânicas que a torna adequada ao uso como dormente: resistência às tensões atuantes, elevado módulo de elasticidade e grande flexibilidade. No Brasil, a madeira mais utilizada é a sucupira, que é um tipo de eucalipto. Apesar de poder ser produzido a partir de reflorestamento, e após sua utilização poder ser reutilizado como mourões ou lenha, o fato de necessitar de, aproximadamente, dois mil dormentes de madeira por quilômetro de ferrovia torna preocupante a sua utilização. Há a necessidade de extração de milhares de árvores por ano para manutenção e implantação de vias (BRINA, 1983; MARZOLA, 2004; PIAZERA, 2017).

### **2.2. Dormente em aço**

Dormentes em aço podem ficar mais espaçados que os dormentes de madeira, chegando a reduzir em 20% sua demanda, por quilômetro de via férrea. Precisa de um investimento maior para implementação. No entanto, sua vida útil é mais longa. Por ser um material leve, não favorece à estabilidade da via, mas possibilita a diminuição da altura do lastro, uma vez que distribui melhor as tensões. Um aspecto negativo é a elevada poluição sonora durante a passagem dos veículos de carga (BRINA, 1983; PIAZERA, 2017).

### **2.3. Dormente em concreto**

Possui dimensões regulares e seção mais homogênea, comparada com dormentes em madeira. A rigidez do material o relaciona à fadiga e absorção de vibrações. O formato dos dormentes em concreto evoluiu de um bloco monolítico (similar ao dormente em madeira) para diversos modelos, como monobloco

protendido, bi-bloco e poli-bloco (BORGES NETO, 2012; BRINA, 1983; PIAZERA, 2017; SEMPREBONE, 2005).

#### **2.4. Dormente em plástico**

Associa a leveza de um dormente em madeira com a durabilidade de um dormente em aço, porém o custo é elevado em comparação com os outros materiais. A grande vantagem deste material é que o material utilizado para fabricação é 85% material reciclado e os outros 15% são resinas que proporcionam as características mecânicas do dormente (PIAZERA, 2017; PINTO, 2012).

#### **2.5. Dormente em Laje Armada**

Este tipo de dormente começou a ser usado na década de 1970. As versões mais modernas proporcionam alta durabilidade e baixa manutenção. Utilizam travessas bi-blocos concretadas dentro de uma laje armada, apoiada em uma massa de concreto. No entanto, tanto o custo, como o tempo, para implementação é elevado. Além da necessidade de pessoal altamente capacitado para sua construção (ESVELD, 1999; PIAZERA, 2017)

#### **2.6. Apoio Multicritério a Decisão**

O AMD consiste na priorização de alternativas em uma situação de critérios conflitantes, buscando satisfazer restrições, em uma solução de compromisso. Assim sendo, o AMD fornece métodos para a estruturação da tomada de decisão. Os métodos de AMD podem ser classificados de diversas formas. Uma das formas mais populares é dividi-los em métodos de sobreclassificação e métodos de agregação e síntese (MENDONÇA; RANGEL, 2017).

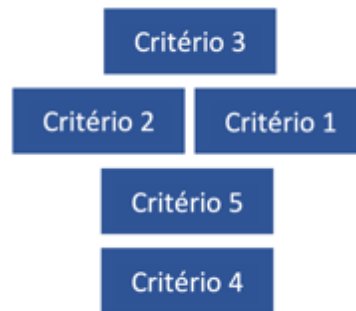
Os métodos de apoio Multicritério à decisão têm um caráter científico e, ao mesmo tempo, apresenta capacidade de agregar todas as características consideradas importantes, inclusive as não quantitativas e esses métodos possuem foco diferenciado dos problemas e passam a atuar sob a forma de auxílio à decisão (DE AZEVEDO; FERREIRA; SILVA, 2018). Vale ressaltar que os métodos multicritério não apontam à uma solução ótima, mas sim direcionam para a melhor solução com base nas restrições e no perfil de preferência do decisor (GARCEZ; FARIAS, 2016).

O método utilizado nesta análise será um método de agregação e síntese, chamado ProPPAGA (DOS SANTOS; DOS SANTOS, 2021a, 2021b, 2021c), que recorre à construção de uma curva Gaussiana para comparar os desempenhos das alternativas consideradas dentro dos diversos critérios conflitantes.

### 2.6.1. Método PrOPPAGA

O primeiro passo para aplicação do método é definir o conjunto de critérios  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$  que serão utilizados na tomada de decisão. Após isso, os critérios devem ser ordenados de acordo com a importância que o decisor dá a cada um deles. É possível, nesta etapa, equiparar critérios em importância, como no exemplo da Figura 2, em que os Critérios 1 e 2 têm a mesma importância.

**FIGURA 2** - Exemplo de ordenação de critérios por importância



**Fonte:** Autores (2021)

Após a ordenação dos critérios define-se o grau de importância máximo  $(s_j)_{max}$ , que será atribuída ao critério mais importante. Ele é definido de acordo com a Eq. (1).

$$(s_j)_{max} = \begin{cases} n, & \text{se } n > 7 \\ 7, & \text{se } n \leq 7 \end{cases} \quad \text{Eq. (1)}$$

Sendo  $n$  o número de elementos do conjunto  $C$ .

Ao(s) critério(s) mais importante(s) deve(m) ser atribuído(s) o grau de importância máximo  $(s_j)_{max}$ . Aos demais critérios, devem ser atribuídos um grau de importância  $s_j$  menor, de acordo com a ordenação que fora feita, não necessariamente em uma sequência ininterrupta.

$W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$  é definido como o conjunto de pesos dos critérios. O peso  $w_j$  ( $w_j > 0, \sum w_j = 1$ ) do critério  $c_j$  é calculado a partir da média ponderada dos graus de importância  $s_j$  atribuídas a cada critério, de acordo com a Eq. (2).

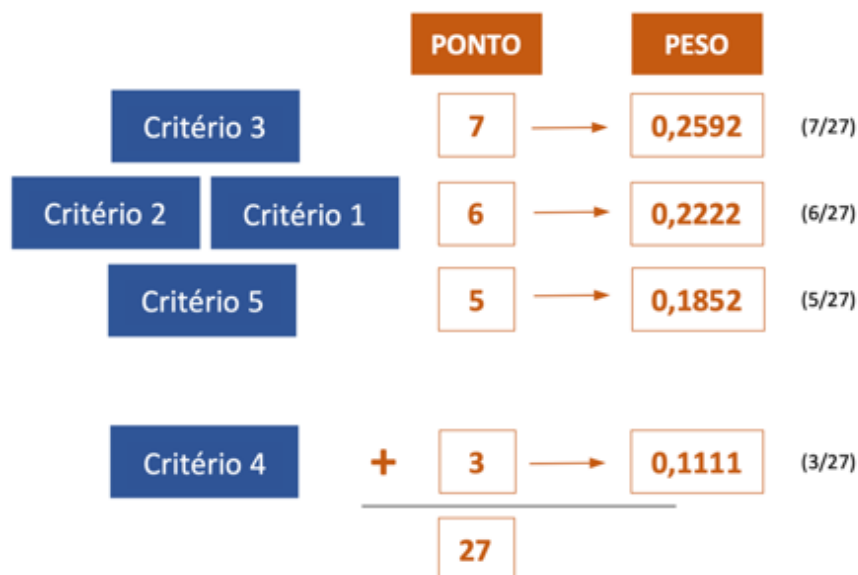
$$w_j = \frac{s_j}{\sum_{k=1}^n s_k} \quad \text{Eq. (2)}$$

A Figura 3 apresenta um exemplo hipotético de atribuição de graus de importância/pesos para critérios. Cabe destacar que, neste exemplo hipotético, como são considerados cinco critérios, então  $n \leq 7$ . Logo, o valor de  $(s_j)_{max}$  é igual a sete, que é a pontuação atribuída ao critério mais importante (Critério 3).

Também cabe destacar que atribuição de pontos não precisa seguir uma sequência descendente ininterrupta. Pode-se observar, no exemplo hipotético que, ao Critério 5 foi atribuído grau de importância 5 e ao Critério 4, que é o critério subsequente, foi atribuído grau de importância 3. Ou seja, a nenhum critério foi atribuído grau de importância 4. Essa atribuição de grau de

importância é subjetiva, e cabe ao decisor, e somente a ele, definir quão menor é um grau de importância em relação ao outro.

**FIGURA 3** - Exemplo de atribuição de graus de importância/pesos para critérios



Fonte: Autores (2021)

Uma vez definidos os pesos de cada um dos critérios, deve-se então definir o conjunto  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$  das alternativas consideradas. Em cada critério, a alternativa  $a_i$  tem um desempenho associado  $d_{ij}$ , que forma a Matriz de Decisão  $M$ , a ser normalizada (Eq. (3)).

$$M = \begin{bmatrix} d_{11} & \dots & d_{1n} \\ \vdots & d_{ij} & \vdots \\ d_{m1} & \dots & d_{mn} \end{bmatrix} \quad \text{Eq. (3)}$$

Para critérios monotônicos de custo (nos quais quanto menor o valor, melhor), os  $d_{ij}$  são representados por valores negativos, a fim de expressar o impacto negativo do crescimento destes valores.

Como exemplos deste tipo de critério, pode-se imaginar a situação hipotética de uma pessoa em busca de passagens aérea para um determinado destino. É de se esperar que ao realizar a busca, o passageiro leve em consideração não só a passagem de menor preço, como também, busque a viagem de menor duração. Ou seja, para ambos os critérios é melhor que se encontre a alternativa com os menores valores em reais, aliado à menor duração em horas. No entanto, geralmente, estes dois critérios se antagonizam, pois, as passagens mais baratas costumam ser as dos voos que fazem mais escalas, ou, quando o voo é direto, ocorrem durante a madrugada, fazendo com que o decisor precise analisar mais um critério, que seria a conveniência do voo.

Normalmente, para critérios quantitativos, os desempenhos  $d_j$  são facilmente mensuráveis em uma dada unidade de medida, como o preço da passagem em reais, ou mesmo, a duração do voo em horas. Contudo, em critérios qualitativos, onde não é possível utilizar uma unidade de medida, como

no caso da conveniência do horário do voo, sugere-se uma escala de sete pontos (Tabela 1), a fim de classificar as alternativas.

**Tabela 1 - Escala de 7 pontos do PrOPPAGA**

Pontos	Definição	Pontos	Definição
1	A alternativa não atende às demandas	5	A alternativa atende às demandas um pouco acima das expectativas
2	A alternativa atende às demandas bem abaixo das expectativas	6	A alternativa atende às demandas bem acima das expectativas
3	A alternativa atende às demandas um pouco abaixo das expectativas	7	A alternativa supera todas as expectativas neste critério
4	A alternativa atende às demandas dentro do esperado		

Depois que a Matriz de Decisão  $M$  é definida, a próxima etapa é a normalização, que é o processo de parametrizar os desempenhos  $d_{ij}$ , de forma a torná-los comparáveis.

Ainda pensando no exemplo das passagens aéreas, como dizer que um voo que custa R\$200,00 reais a mais, é pior do que um voo cinco horas mais longo? E se fossem 10 horas a mais? Para que esta comparação possa ser feita de forma estruturada é que se faz a normalização.

O resultado dessa normalização é a Matriz de Decisão Normalizada  $N$  (Eq. (4)), em que os valores associados às alternativas em cada critério variam entre 0 e 1. Quanto mais próximo de 1, melhor o desempenho da alternativa. Da mesma forma, quanto mais próximo de 0, pior o desempenho.

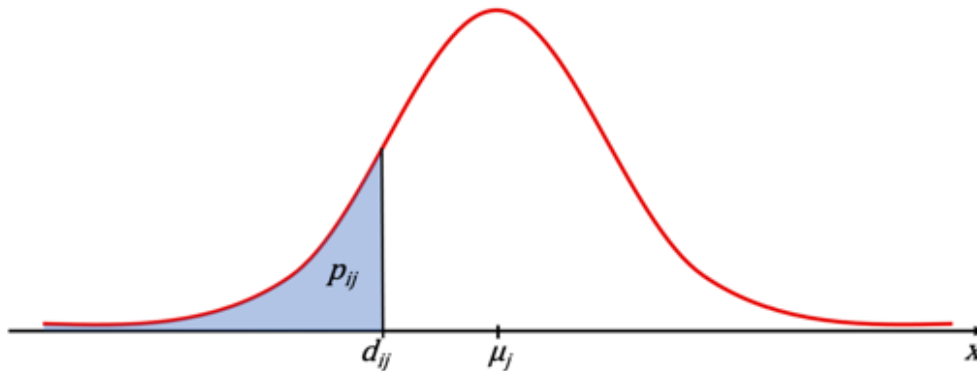
$$N = \begin{bmatrix} p_{11} & \cdots & p_{1n} \\ \vdots & p_{ij} & \vdots \\ p_{m1} & \cdots & p_{mn} \end{bmatrix} \quad \text{Eq. (4)}$$

É justamente nesta etapa de normalização que o método pressupõe que as alternativas se comportem de forma Gaussiana (daí o nome do método). Esta presunção sugere, por exemplo, que ao buscar passagens aéreas, uma pessoa encontrará diversas opções disponíveis e que, ao analisar os preços destas opções, encontrar-se-ia um comportamento Gaussiano. Ou seja, os preços obedeceriam a uma distribuição normal, em torno de uma dada média. Da mesma forma, se analisasse a duração dos voos ofertados, também se encontraria uma distribuição Gaussiana em torno de uma dada média.

Desta forma, o parâmetro para comparar as alternativas em cada um dos seus critérios, passa a ser como cada alternativa se comporta em relação ao restante da amostra de alternativas. Ou seja, para atribuir uma nota entre 0 e 1 para o preço de uma passagem, é feita uma comparação com o conjunto de preços das outras passagens. Caso a passagem que esteja sendo analisada custe exatamente o mesmo valor da média de todas as passagens, esta alternativa de voo receberia nota 0,5 neste critério. Conforme os preços se afastem desta média, as notas iriam aumentando (caso o preço diminua), ou diminuindo (caso o preço aumente).

Sendo assim, para normalizar, em cada critério  $c_j$  é calculada a média  $\mu_j$  e o desvio padrão  $\sigma_j$  do conjunto de desempenhos  $d_{ij}$ . Estes parâmetros são suficientes para, em cada critério, traçar a curva Gaussiana, de média  $\mu_j$  e desvio padrão  $\sigma_j$ . O valor normalizado  $p_{ij}$  do desempenho  $d_{ij}$  é representado pela área sob a curva Gaussiana traçada, limitada à direita por  $d_{ij}$  (Figura 4).

**FIGURA 4** - Representação gráfica de  $p_{ij}$



Fonte: Autores (2021)

A área de  $p_{ij}$  é calculada a partir da Eq. (5) (ALBUQUERQUE; FORTES; FINAMORE, 2008), que apesar do aspecto complexo, é facilmente resolvida com o auxílio de planilhas eletrônicas (BALDINI, 2021).

$$p_{ij} = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_j} \cdot \int_{-\infty}^{d_{ij}} \exp\left(-\frac{(x - \mu_j)^2}{2\sigma_j^2}\right) \cdot dx \quad \text{Eq. (5)}$$

Cabe destacar que a presunção de comportamento Gaussiano não precisa ser comprovada para se aplicar o método. Ou seja, não é necessário realizar um teste de aderência para comprovar que as alternativas, de fato, se comportam de forma Gaussiana para se aplicar o PrOPPAGA.

Na verdade, pode se pensar justamente no contraexemplo disso. No caso em que é sabido que as alternativas se comportam de outra forma, que não a Gaussiana e ainda assim, é possível aplicar o método.

Isso ocorre, porque independente da forma de distribuição dos desempenhos  $d_{ij}$ , gaussiana ou não, os desempenhos ainda estarão dispostos sobre o eixo x da Figura 4 e ainda será possível traçar uma curva de Gauss sobre estes desempenhos, já que a curva vai de  $-\infty$  até  $+\infty$ . Para cada  $d_{ij}$ , independente de onde ele esteja no eixo x, haverá uma área  $p_{ij}$  correspondente, com valor entre 0 e 1.

Após concluir a normalização de todos os elementos  $d_{ij}$  da Matriz de Decisão, é feita a agregação destes elementos com os pesos  $w_j$  dos critérios, conforme a Eq. (6).

$$v_i = \sum_{j=1}^n w_j \cdot p_{ij} \quad \text{Eq. (6)}$$



Em que  $v_i$  é o valor geral da alternativa  $a_i$ .

A alternativa com o maior valor geral é a alternativa indicada como a que tem melhor desempenho geral entre as alternativas consideradas e, por isso, é considerada solução do problema.

Tanto os valores de  $w_j$ , como os de  $p_{ij}$ , variam entre 0 e 1. No entanto, para uma dada alternativa  $a_i$  ( $\forall i | 1 \leq i \leq m$ ), o somatório de todos os  $w_j$  é igual a 1 ( $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ ). Isso acontece porque cada peso  $w_j$  indica o percentual de  $v_i$  que é impactado pelo desempenho normalizado  $p_{ij}$ .

### 3. Descrição do problema e proposta de solução

Com a finalidade de auxiliar na escolha do melhor tipo de dormente para futuros investimentos na malha férrea brasileira, foram levantadas informações para poder traçar o perfil do atual cenário nacional, mediante a análise dos tipos de materiais, relacionados aos que já são utilizados em construções de ferrovias.

Os tipos de dormentes em estudo foram determinados de acordo com sua relevância e com a sua utilização no cenário nacional, apresentado por especialistas. Foram escolhidos: Madeira, Aço, Concreto, Lajes Armadas e Plástico.

Estas alternativas serão analisadas a luz do método PrOPPAGA, levando-se em consideração os critérios expostos na Tabela 2. Tais critérios levam em consideração aspecto de custos, impacto ambiental e poluição sonora.

**Tabela 2 - Conjunto de critérios considerados**

Critérios	Descrição
$c_1$ – Custo de aquisição/km	Refere-se ao valor que será investido na implementação do dormente.
$c_2$ – Vida útil	Período esperado que o dormente seja utilizado.
$c_3$ – Custo de manutenção	Valor anual, por km de via, a ser gasto com manutenções preventivas, corretivas e preditivas.
$c_4$ – Ruído	Refere-se ao nível de som desagradável e duradouro produzido no momento que o trem trafega pela via.
$c_5$ – Impacto ambiental	Refere-se ao grau de alteração causado ao meio ambiente devido o emprego do dormente.

Seguindo o passo a passo do PrOPPAGA, foi feita a ordenação dos critérios por importância, a atribuição do grau de importância e o cálculo dos pesos de cada critério (Tabela 3). Como estão sendo considerados cinco critérios, então  $n \leq 7$ . Por isso,  $(s_j)_{max} = 7$ , que é o grau de importância atribuído ao critério mais importante ( $c_2$  – Vida útil).

Os critérios  $c_1$  e  $c_3$  foram equiparados, com grau de importância 5. Seguidos por  $c_5$ , com grau de importância 4 e por  $c_4$  com grau de importância 2.

**TABELA 3** - Ordenação, atribuição de grau de importância e pesos dos critérios

Critério	Grau de importância	Peso
$c_2$ – Vida útil	7	0,3043
$c_1$ – Custo de aquisição/km	5	0,2174
$c_3$ – Custo de manutenção	5	0,2174
$c_5$ – Impacto ambiental	4	0,1739
$c_4$ – Ruído	2	0,0870

A Tabela 4 apresenta a Matriz de Decisão, que deve ser normalizada de acordo com a Eq. (5). Nesta tabela, são apresentados os desempenhos de cada tipo de dormente em cada um dos cinco critérios considerados. Vale observar que os critérios  $c_1$  (Custo de aquisição/km) e  $c_3$  (Custo de manutenção) são critérios monotônicos de custo, o que significa dizer que quanto menor os valores referentes aos desempenhos, melhor. Por isso, seus desempenhos estão representados por valores negativos, a fim de expressar o impacto negativo que o aumento destes custos representa. Ou seja, quanto maior o custo de aquisição/manutenção, mais negativo fica o desempenho daquele tipo de dormente nestes critérios.

**TABELA 4** - Matriz de Decisão

Alternativas	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	$c_5$
Madeira	-1500	15	-100	6	2
Aço	-2300	50	-46	3	3
Concreto	-2480	50	-49,6	5	4
Laje Armada	-3500	60	-59	5	4
Plástico	-3000	40	-75	6	6

Fonte: (OLINGER, 2014; PIAZERA, 2017; PINTO, 2012)

Para a normalização, é necessário, primeiramente, o cálculo das médias e desvios padrão de cada critério. Esta etapa se torna simples com o auxílio de planilhas eletrônicas. O comando utilizado para o cálculo depende, obviamente, do *software* e da versão utilizada. Neste estudo, foi utilizada a versão 10.54 do “Microsoft® Excel para Mac”. As funções utilizadas foram:

- $\mu_j = \text{MÉDIA}(d_{1j}; d_{5j});$
- $\sigma_j = \text{DESVPAD.P}(d_{1j}; d_{5j});$
- $p_{ij} = \text{DISTNORM}(d_{ij}; \mu_j; \sigma_j; \text{VERDADEIRO}).$

Os resultados são exibidos na Tabela 5.

**TABELA 5** - Média, desvio padrão e normalização dos desempenhos

Alternativas	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	$c_5$
Média	-2556	43	-65,92	5	3,8
Desvio Padrão	674,495	15,362	19,773	1,095	1,327
Madeira	0,941	0,034	0,042	0,819	0,087
Aço	0,648	0,676	0,843	0,034	0,273
Concreto	0,545	0,676	0,795	0,500	0,560
Laje Armada	0,081	0,866	0,637	0,500	0,560
Plástico	0,255	0,423	0,323	0,819	0,951

A seguir, é feita a agregação dos valores (Eq. (6)). Foi utilizado, na planilha eletrônica, o comando  $v_i = \text{SOMARPRODUTO}(w_1:w_5; p_{i1}:p_{i5})$  para realizar esta agregação. Os resultados são exibidos na Tabela 6.

**TABELA 6** - Ordenação das alternativas pelo PrOPPAGA

Ordenação	Alternativa	Cardinalidade
1ª	Concreto	0,6379
2ª	Aço	0,5802
3ª	Laje Armada	0,5604
4ª	Plástico	0,4910
5ª	Madeira	0,3107

Os resultados apontam como melhor alternativa para futuros investimentos na malha férrea brasileira, dormentes em concreto. Analisando a matriz de decisão, verifica-se que este tipo de dormente, apesar de não ter melhor desempenho no critério mais importante (vida útil), ele performa melhor de que o dormente em Laje Armada nos dois critérios seguintes (custo de aquisição e custo de manutenção e supera o dormente em aço nos critérios restantes (Impacto ambiental e ruído).

#### 4. Conclusões

A estruturação feita aponta para dormentes em concreto como melhor opção para futuros investimentos na malha férrea brasileira. Este resultado contribui para a sociedade ao subsidiar de forma científica a tomada de decisão em relação a futuros investimentos, salvaguardando recursos públicos. O estudo não exaure as possibilidades, nem tão pouco exclui a necessidade de

atualizações ao longo do tempo, uma vez que estes investimentos ocorrerão no horizonte de quinze anos, ao longo do Plano Nacional de Logística 2035.

O método PrOPPAGA foi aplicado, neste estudo, com auxílio de planilha eletrônica. No entanto, para analistas que não estejam familiarizados com o algoritmo do método, está disponível, gratuitamente, em [www.proppaga.com.br](http://www.proppaga.com.br) uma ferramenta computacional que aplica o método de forma guiada, sem a necessidade de aprofundar estudos nos meandros da Pesquisa Operacional, permitindo à decisores leigos em AMD estruturarem decisões de forma simples.

## Referências

ALBUQUERQUE, J. P.; FORTES, J. M.; FINAMORE, W. **Probabilidade, Variáveis Aleatórias e Processos Estocásticos**. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

BALDINI, F. **PrOPPAGA no Excel**, 2021. Disponível em: <<https://fabiobaldini.com.br/proppaga-no-excel/>>. Acesso em: 26 set. 2021

BORGES NETO, C. **Manual Didático de Ferrovias**. Curitiba, PR: UFPR, 2012.

BRINA, H. L. **Estradas de ferro**. Rio de Janeiro, RJ: Livros Tecnicos e Cientificos, 1983.

DE AZEVEDO, T. N.; FERREIRA, M. M. G.; SILVA, R. G. **A utilização dos métodos de apoio multicritério à decisão no Brasil entre os anos de 2007 a 2017: Um estudo bibliométrico**. XXXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. **Anais...** In: ENEGEP. Maceió, AL: 2018.

DOS SANTOS, F. B.; DOS SANTOS, M. **Desenvolvimento e implementação de uma ferramenta computacional para o método multicritério PROPPAGA: estudo de caso da ordenação de navios de assistência hospitalar da Marinha do Brasil para enfrentamento da pandemia do COVID-19**. IV Simpósio de Engenharia, Gestão e Inovação. **Anais...** In: SENGI. Juazeiro do Norte, CE: 2021a. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/sengi2021/332202>>. Acesso em: 23 jul. 2021

DOS SANTOS, F. B.; DOS SANTOS, M. **Escolha de viaturas blindadas sobre rodas para o Corpo de Fuzileiros Navais (CFN): uma análise a partir do método da Prioridade Observada a Partir da Presunção de Atitude Gaussiana das Alternativas (PrOPPAGA)**. IX Simpósio de Engenharia de Produção. **Anais...** In: SIMEP 2021. Caruaru, PE: 2021b. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/9simep/330927>>. Acesso em: 17 set. 2021

DOS SANTOS, F. B.; DOS SANTOS, M. Prioridade observada a partir da presunção de atitude Gaussiana das alternativas (PrOPPAGA): proposta axiomática e desenvolvimento de uma plataforma computacional para um novo método multicritério de apoio à tomada de decisão. **Revista SIMEP**, v. 1, n. 1, p. 94–109, 3 jun. 2021c.

EMPRESA DE PLANEJAMENTO E LOGÍSTICA. **Melhor uso de ferrovias é alvo de debate em seminário virtual**, 30 abr. 2020. Disponível em: <<https://www.epl.gov.br/melhor-uso-de-ferrovias-e-alvo-de-debate-em-seminario-virtual>>. Acesso em: 20 set. 2021

ESVELD, C. SLAB TRACK: A Competitive Solution. **TU Delft**, p. 5, 1999.

GARCEZ, T. V.; FARIAS, D. **Priorização dos equipamentos através da metodologia multicritério de apoio à decisão alinhada com a visão estratégica do WCM**. XLVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. **Anais...** In: SBPO. Vitória/ES: 2016.

LIMA E SILVA, G. C. **Dimensionamento da Via Permanente e avaliação das tensões nas camadas do pavimento ferroviário da variação dos trilhos e dormentes**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil)—Uberlândia, MG: Universidade Federal de Uberlândia, 2019.

MARZOLA, G. **Alternativas viáveis para substituição da madeira como dormente ferroviário**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil)—São Paulo, SP: Universidade Anhembi Morumbi, 2004.

MENDONÇA, T. C.; RANGEL, L. A. D. **Priorização de equipamentos em manutenção empregando o apoio Multicritério à decisão**. XLIX Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. **Anais...** In: SBPO. Blumenal/SC: 2017.

OLINGER, M. S. **FERROVIAS EM LAJE: o estado da arte**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil)—Florianópolis, SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.

PIAZERA, A. B. **Estudo comparativo entre tecnologias inovadoras em superestruturas ferroviárias**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil)—Florianópolis, SC: Univeridade Federal de Santa Catarina, 2017.

PINTO, P. M. **Modelo Técnico-Econômico para Escolha de Dormente**. Monografia (Especialização em Transporte Ferroviário)—Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2012.

SEMPREBONE, P. DA S. **Desgaste em trilhos ferroviários – um estudo teórico**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)—Campinas, SP: Universidade Estadual de Campinas, 2005.