

Priorização de manutenção de via permanente em um trecho ferroviário utilizando modelagem matemática

1º Ramon Freitas Mendes^{1*}, 2º Hugo Costa Campbel²

¹ MRS Logística S.A. Juiz de Fora, MG

² MRS Logística S.A. Juiz de Fora, MG

e-mail: 1º autor ramonfmendes@gmail.com, 2º autor hugo.campbel@engenharia.ufjf.br

Resumo Grandes investimentos em ativos, e baixa disponibilidade para manutenção são traços que permeiam a manutenção ferroviária e que fomentam cada vez mais o uso de ferramentas que auxiliam na eficiência em custos e melhoria no planejamento das atividades.

Neste cenário, o presente trabalho propõe o uso de modelagem matemática e pesquisa operacional, para priorizar a manutenção dos dispositivos de via permanente de um trecho, buscando uma maior eficiência relativa na ordem de execução, priorizando os locais que demandam menor input - quantidade de recurso demandado para a recuperação de cada trecho por km - e obtém um maior output - ganho com retirada de restrições de velocidade e aumento da tonelada bruta transportada por vagão nesse trecho.

O trecho do estudo corresponde a 128 quilômetros de linha ferroviária, sequenciadas em 21 ativos (pátios e entrepátios), em que está previsto um projeto de recuperação por meio da realização de atividades de manutenção, como: substituição de dormentes e trilho, recuperação de AMV's (aparelhos de mudança de via) e socaria mecanizada. Atualmente existem cerca de 70 restrições de velocidade, totalizando 49% do trecho, o que impossibilita operar um trem em sua velocidade máxima autorizada. Essas restrições são causadas devido às más condições dos componentes da superestrutura da via, o que também implica na limitação do peso bruto por vagão.

O tempo previsto para execução do projeto é de 23 meses e o retorno financeiro será antecipado à medida que as atividades de manutenção forem retirando as restrições do trecho e permitir o aumento da tonelada bruta por vagão transportada. Para a priorização da manutenção foi utilizado o método de Análise por Envoltória de Dados (DEA), cuja função é definir a ordem de realização dos ativos, antecipando aqueles que vão trazer o maior retorno financeiro no menor intervalo de tempo, potencializando os ganhos antes do final do projeto, através da função-objetivo do problema. O DEA é uma metodologia de análise que compara a eficiência otimizada com a eficiência pontual, estabelecendo um indicador de avaliação e definindo a curva de máxima produtividade. Com a utilização da modelagem matemática foi possível obter a eficiência de todos os grupos de quilômetros pré-estabelecidos e classificá-los priorizando as maiores eficiências e determinando a ordem para realização da manutenção.

Palavras-Chaves: Via Permanente, Planejamento, DEA, Estratégia;

1. INTRODUÇÃO

No ambiente corporativo atual, empresas dos mais variados setores têm investido em ferramentas e sistemas com foco na otimização de seus processos. O principal objetivo é simplificar sistemas e garantir a sustentabilidade do negócio. No setor ferroviário também é possível observar esta tendência, embora os processos ferroviários estejam ligados a um conjunto de problemas complexos. Os investimentos em manutenção representam significativa participação nos custos totais das ferrovias, por isso tem se tornado um processo-chave e tem aumentado a busca por ferramentas

que maximizem a eficiência em custos, principalmente os de manutenção, bem como a melhoria no planejamento das atividades.

O presente trabalho refere-se a um estudo de caso sobre um projeto de priorização de atividades de manutenção ferroviária, realizado na MRS Logística. A necessidade deste projeto é devida as várias restrições de velocidade no trecho em estudo, totalizando aproximadamente metade de toda a malha analisada, o que impossibilita a circulação operacional dos trens dentro da velocidade máxima autorizada. Estas restrições são causadas devido às más condições dos componentes da superestrutura da via, o

que também implica na limitação do peso bruto por vagão.

Trabalhar com o conceito de maior eficiência relativa é uma boa estratégia de priorização, pois torna o modelo mais flexível, permitindo a variação de critérios de análise dependendo da realidade de aplicação do problema analisado. Neste artigo, o objetivo é estabelecer qual quilômetro é o mais eficiente, ou seja, definir o local de manutenção que gera o maior retorno com o menor esforço possível.

Este artigo tem como objetivo realizar a priorização das atividades de manutenção utilizando o método de Análise por Envoltória de Dados (DEA), cuja função é definir a ordem de realização dos ativos, priorizando aqueles com o maior retorno financeiro no menor intervalo de tempo. Dessa forma, os ganhos serão potencializados e maximizará o retorno antecipado do projeto através da função-objetivo do problema.

2. MÉTODO DEA

O método DEA (*Data Envelopment Analysis*) ou Análise Envoltória de Dados é uma metodologia de análise de eficiência cuja função é definir a ordem de realização dos ativos, antecipando aqueles que vão trazer o maior retorno financeiro no menor intervalo de tempo, potencializando os ganhos antes do final do projeto, através da função-objetivo do problema. O DEA é uma metodologia de análise comparativa entre a eficiência pontual e a eficiência otimizada, estabelecendo um indicador de avaliação e definindo a curva de máxima produtividade.

Este método originou-se nos trabalhos de Farrell (1957) com o desenvolvimento de um método que comparou a eficiência de escolas públicas, estimando um modelo onde não fosse necessário recorrer ao árbitro de pesos para cada variável de input ou output e sem converter todas as variáveis em valores econômicos comparáveis (CHARNES et al, 1978).

As principais etapas do DEA são: definição das DMUs, definição das variáveis (Inputs e Outputs), Definição do período de análise a ser considerado, definição do objetivo do processo, definição da eficiência relativa inicial através de uma análise gráfica

preliminar, aplicação da metodologia nos cálculos de eficiência e análise dos resultados para todas as DMUs.

A DEA utiliza-se da programação matemática para obter avaliações da eficiência relativa de planejamento e tem sido utilizada em diversas áreas como: administração, economia, pesquisa operacional e engenharia de produção (LOPES et al., 1996).

Os objetivos do método DEA são: fornecimento de uma taxa de eficiência, identificação de origens e quantidades de ineficiência relativa de cada uma das unidades comparadas, em qualquer de suas dimensões e estabelecimento de metas de produção que maximizem a produtividade das unidades avaliadas (NUNES, 1998).

As principais vantagens deste modelo de análise de eficiência são: prescinde de atribuição prévia de pesos às variáveis; a eficiência é definida de forma individualizada; permite que mais de um item analisado possa ser classificado como eficiente; realiza contribuições de melhorias para os itens considerados como ineficientes. Em relação às limitações do modelo, pode-se destacar ao escopo recente do modelo, restrita à área de pesquisa operacional e não permite extrapolação de suas conclusões, uma vez que se trata de uma técnica não paramétrica.

A utilização da modelagem matemática para análise de dados irá permitir a obtenção da eficiência de todos os grupos de quilômetros pré-estabelecidos e classificá-los priorizando as maiores eficiências, determinando assim a ordem para realização da manutenção (LOVELL & SCHMIDT, 1993). É importante destacar que o método DEA não busca apenas a obtenção de um único valor final ideal, mas permite que sejam definidos experimentos, considerando os impactos nos resultados da eficiência relativa.

3. MODELO MATEMÁTICO

Foi desenvolvido um modelo matemático baseado nos conceitos do método DEA com o objetivo de priorizar os trechos ferroviários que possuem uma quantidade menor de recursos demandados para a recuperação (*inputs*) e uma quantidade

maior potencial de retorno esperado, locais onde tiver uma maior diferença entre a restrição de velocidade existente no trecho e a Velocidade Máxima Autorizada (VMA) e uma maior inclinação de rampa – declive (*outputs*).

CONJUNTOS:

k: conjunto quilômetros de via considerados para o modelo de priorização; $k \in [1; 128]$

g: grupos de quilômetros que possui um tamanho predefinido no modelo;

s: serviços de manutenção a serem executados: 17 serviços necessários, sendo 6 principais e os demais secundários;

e: grupos de equipes e equipamentos que podem realizar cada atividade (PRODUCAO = Equipes de produção, SOLDA = equipes de solda, BRITA = frota de descarga de brita, SOCADORA = socadora mecanizada) que representam as categorias de entrada;

j: categorias de saídas para os indicadores medidos;

PARÂMETROS:

NS (k, s): indica a necessidade de serviços de manutenção a serem executados de cada tipo (*s*) e para cada quilômetro (*k*);

NSG (g, s): indica a necessidade de serviços a serem executados de cada tipo (*s*) e cada grupo de quilômetros (*g*);

Prod(s): produtividade diária de cada serviço (*s*) por equipe/equipamento;

PAB (k): corresponde ao ângulo de aclave ou declive de cada quilômetro (*k*);

PAT (k): tamanho de cada quilômetro (*k*) com aclave/declive considerando seu perfil altimétrico;

RV(k): velocidade atual em cada quilômetro (*k*), considerando as restrições de velocidade existentes;

VMA: Velocidade máxima autorizada do trecho;

SEq (s, e): faz a correspondência entre cada serviço (*s*) e qual o equipamento ou equipe (*e*) que o realiza; **ServEq(s, e) $\in [0, 1]$**

UPD (e, g): transforma a quantidade de

serviço necessário em cada grupo de km (*k*) em Unidade Produtiva Diária, considerando cada grupo de serviços (*e*). Representam os níveis de entrada para cada grupo (*g*);

bq(j, k): nível observado (> 0) das saídas (*j*) para os quilômetros (*k*);

b(j, g): nível observado (> 0) das saídas (*j*) para os grupos de quilômetro (*g*). O problema proposto possui dois indicadores de saída ($j = 2$) 'RESTRICAO' e 'AUMENTO TB';

ERG(g): Eficiência Relativa do grupo (*g*) como parâmetro para receber o valor da variável ERV(*g*) a cada rodada de resolução;

T: Tamanho mínimo do bloco de quilômetros para retirada da restrição. Para o problema proposto, foi definido $T = 5$;

Gr: parâmetro para receber o número de grupos de quilômetros calculados a partir do tamanho dos blocos *T*;

p: padrão a ser usado para cálculo da eficiência relativa de cada grupo de quilômetros (parâmetro comum para os problemas em DEA);

X(e, p): parâmetros para receber os valores da variável **x(e, p)** a cada rodada da otimização;

Y(e, p): parâmetros para receber os valores da variável **y(e, p)** a cada rodada da otimização;

VARIÁVEIS:

x(e, p): peso a ser atribuído à entrada (*e*) do grupo parâmetro (*p*) que faz referência aos grupos (*g*) de quilômetros;

y(j, p): peso a ser atribuído à saída (*j*) do grupo parâmetro (*p*) que faz referência aos grupos (*g*) de quilômetros;

ERV(p): Eficiência relativa do grupo parâmetro (*p*) que faz referência aos grupos (*g*) de quilômetros.

Anteriormente a otimização são realizados os cálculos abaixo, para que o usuário possa entrar com as informações no formato mais lógico e prático que são as necessidades de serviços e demais parâmetros por quilômetro de linha e cabe ao modelo calcular as informações no

formado ideal para entrada:

$$b_{1k} = (-1) * PAB_k * PAT_k * (VMA - RV_k) \forall_k \quad (1)$$

$$NSG_{gs} = \sum_{k | ((g-1)*T+1) \leq k \leq g*T} NS_{ks} \quad \forall_{gs} \quad (2)$$

$$b_{jg} = \sum_{k | ((g-1)*T+1) \leq k \leq g*T} bq_{jk} \quad \forall_{jg} \quad (3)$$

$$Gr = Ceil\left(\frac{card(k)}{T}\right) \quad (4)$$

O parâmetro Gr consiste na quantidade de grupos existentes levando em consideração o tamanho do conjunto k obtido com a formula $card()$ no AIMMS e a formula $Ceil()$ que retorna o valor inteiro da divisão demonstrada acima.

A partir dos cálculos acima é possível calcular a função objetivo e as restrições do modelo de otimização, conforme demonstrados abaixo nas formulas (5) a (11).

FUNÇÃO OBJETIVO:

$$MAX_FO = \sum_j b_{jp} * y_{jp} \quad (5)$$

Sujeito a:

$$UPD_{eg} = \sum_s \left(\frac{NSG_{gs} * SEq_{se}}{Prod_s} \right) \quad \forall_{g,e} \quad (6)$$

$$\sum_j b_{jg} * y_{jp} \leq \sum_e UPD_{eg} * x_{ep} \quad \forall_g \quad (7)$$

$$\sum_e (UPD_{ep} * x_{ep}) = 1 \quad (8)$$

$$ERV = \sum_j b_{jp} * y_{jp} \quad (9)$$

$$x_{ep} \geq 0 \quad \forall_e \quad (10)$$

$$y_{jp} \geq 0 \quad \forall_j \quad (11)$$

O método DEA ainda prevê que o modelo de otimização acima seja rodado Gr vezes, que corresponde ao tamanho do conjunto g , assumindo valores fixos p e calculando a eficiência relativa ERV para cada um dos grupos de quilômetros definidos para o ranqueamento dos grupos de quilômetros e conseqüentemente a priorização dos

mesmos conforme as maiores eficiências relativas:

Para g faça

$p = g$

Resolva **MAX_FO**

$ERG(p) = ERV$

$X_{ep} = x_{ep}$

$Y_{ep} = y_{ep}$

\forall_e

\forall_e

Fim-para

(12)

4. APLICAÇÃO DO MODELO

O modelo matemático demonstrado acima foi implementado no software AIMMS® considerando as informações reais de necessidade de serviço e parâmetros de via de um trecho previsto para recuperação de via, com o objetivo de comparar com um modelo de priorização determinado anteriormente considerando outros critérios sem otimização, sugerir mudanças e aplicar experimentos do modelo conforme previsto no método DEA.

4.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Trata-se de um trecho de 128 quilômetros de linha ferroviária, com um total de 31 ativos (pátios e entrepátios) onde está previsto um projeto de recuperação do trecho. Com o desenvolvimento do projeto, serão realizadas as seguintes atividades principais: substituição de trilhos, substituição de dormentes, recuperação de AMVs, Solda em trilho, descarga de brita e socaria mecanizada.

Existem no trecho cerca de 70 restrições de velocidade, totalizando 63,3 km de linha (49% do trecho total) que não permitem o trem trafegar na velocidade prevista para o trecho. Essa restrição de velocidade é causada devido às más condições dos componentes de via permanente e, além disso, o peso bruto por vagão é limitado a 100 ton. O aumento do peso bruto por vagão está relacionado principalmente a necessidade de substituição de trilhos em áreas críticas do trecho, com possibilidade de aumentar esse valor para 120 toneladas por vagão. A retirada de restrição de velocidade garante o aumento para a VMA do trecho, conseqüentemente, a redução do tempo de tráfego (o *transit-time* total desse trecho é de cerca de 6:30h) e ganhos

em eficiência energética. Já o aumento da capacidade de carga por vagão de 100 para 120 toneladas significa em ganho direto para a companhia uma vez que seu faturamento está diretamente ligado a tonelada útil transportada.

O projeto de recuperação foi previsto ser realizado em 23 meses e com o seu andamento a empresa já começa a ter retorno financeiro antecipado com a execução das atividades nos trechos com maior eficiência primeiro, conforme as restrições de velocidade forem retiradas e o aumento da tonelada bruta por vagão para todos os trechos liberado.

Dessa forma, a função desse modelo matemático não é definir o que fazer e quando, mas sim priorizar a ordem de realização dos ativos, levando em consideração a realização antecipada daqueles que vão trazer o maior retorno financeiro no menor intervalo de tempo, potencializando os ganhos antes do final do projeto.

4.2 ESTRATÉGIA DE PRIORIZAÇÃO

Conforme demonstrado no modelo matemática apresentado, e na contextualização do problema, a estratégia adotada de priorização de manutenção para o trecho estudado, consiste na eficiência relativa de cada grupo de quilômetros, levantado em consideração a quantidade de trilho necessário para troca naquela região, dado a priorização da troca de trilhos para o aumento da tonelada bruta por vagão para aquele trecho, e os tamanhos e ângulos de inclinação das rampas multiplicado pela a diferença da velocidade atual no trecho e a VMA, priorizando trechos em declive para a retirada das maiores restrições de velocidade primeiro, impactando assim na eficiência energética dos trechos para aquele trecho. Tudo isso levando em consideração as entradas que são as necessidades de serviços para o trecho, para cada trecho. Em suma serão priorizados os trechos que tiverem maior retorno e menor necessidade de serviços para garantir a retirada das restrições de velocidade.

Anteriormente a esta estratégia havia sido definida também uma estratégia que previa a atuação nos locais por nível de

criticidade, classificados pela maior quantidade de restrições de velocidade (metros), demanda por troca de dormentes (quantidade de dormentes * espaçamento em metros), demanda por troca de trilhos (metros) e a proximidade com os pátios de apoio, locais onde ficam armazenados os materiais e de desvio dos equipamentos.

Desta forma o trecho foi subdividido em 5 blocos de atuação, a serem priorizados de 1 a 5 com a realização total de cada bloco para avanço para o próximo (conforme demonstrado na parte superior da Figura 2). Conforme demonstrado nos resultados, a eficiência relativa obtida para cada grupo de quilômetros foi comparada a essa estratégia anteriormente definida dos blocos e assim alterações foram sugeridas a fim de tornar a priorização dos trechos mais eficiente.

4.3 EXPERIMENTOS

Após o modelo ser implementado no AIMMS® foram planejados 3 experimentos para análise dos resultados, sendo eles:

- i. Experimento padrão com tamanho o grupo de quilômetros $T = 5$
- ii. Considerando outro tamanho de grupo $T = 10$ o que resulta em uma diminuição dos grupos a serem priorizados de 26 para 13;
- iii. Retirar das atividades de manutenção consideradas nos *inputs* a atividade de solda aluminotérmica, por essa não ser considerada uma atividade crítica a ser priorizada;

5. RESULTADOS

Após rodado o modelo de otimização desenvolvido os resultados obtidos foram analisados e a partir da análise de cada experimento, ações podem ser sugeridas para a estratégia de priorização do trecho. Abaixo são detalhados os resultados de cada experimento e as suas consequências para a priorização a partir da análise realizada.

5.1 EXPERIMENTO I

No experimento I foram considerados grupos de 5 quilômetros, subdividindo o

trecho em 26 grupos. A eficiência relativa de cada grupo, bem como a sua classificação de quais grupos devem ser priorizados são demonstrados na Figura 1.

Eficiência por grupo:		Grupos classificados:	
Grupo	Eficiência	Grupo	Eficiência
1	0,204	19	1,000
2	0,120	21	1,000
3	0,087	26	1,000
4	0,040	7	0,726
5	0,635	5	0,635
6	0,609	6	0,609
7	0,726	23	0,605
8	0,414	20	0,580
9	0,291	22	0,520
10	0,207	18	0,494
11	0,148	24	0,461
12	0,172	8	0,414
13	0,394	13	0,394
14	0,123	9	0,291
15	0,032	10	0,207
16	0,174	1	0,204
17	0,161	16	0,174
18	0,494	12	0,172
19	1,000	17	0,161
20	0,580	11	0,148
21	1,000	25	0,127
22	0,520	14	0,123
23	0,605	2	0,120
24	0,461	3	0,087
25	0,127	4	0,040
26	1,000	15	0,032

Figura 1 - Eficiência relativa por grupo de quilômetros.

Através da escala de cores onde o vermelho é relativo aos grupos mais prioritários até o verde aos menos prioritários, pode ser analisado todo o trecho a partir da eficiência de cada grupo.

Levando em consideração apenas a eficiência relativa os grupos prioritários para ser atendidos com a manutenção poderiam ser os grupos 19, 21 e 26 e assim sucessivamente, atuando em cada trecho de 5 km conforme a priorização.

Porém normalmente é mais fácil a atuação mais concentrada em quilômetros para a distribuição de materiais e a abertura maior de frente para descarga de brita e socaria. Levando em consideração essa informação, a estratégia definida anteriormente de subdividir o trecho em 5 blocos de trabalho, apresentada no tópico 4.2 do presente artigo, foi comparada com a eficiência relativa dos grupos de quilômetros e foram sugeridas mudanças na estratégia de atuação conforme a eficiência relativa de cada trecho.

A Figura 2 demonstra essa comparação, onde a parte acima da figura representa o trecho ferroviário com as curvas acumuladas de quantidade de restrição de

velocidade, dormentes e trilho e a subdivisão nos 5 blocos. Os pontos circulados em amarelo consistem nos pátios de desvio e distribuição de materiais e abaixo está a eficiência relativa por grupo de 5 quilômetros, também para o mesmo trecho e abaixo do gráfico escala de cor de priorização de cada grupo.

Através análise cruzada dos blocos e das eficiências dentro de cada bloco é possível notar que algumas partes dos blocos prioritários (blocos 1 e 2) possuem eficiência relativa baixa (verde e amarelo claro), não sendo assim trechos considerados prioritário devido a sua eficiência, logo foram sugeridas mudanças nos cortes de cada bloco prioritário, sendo esses novos quilômetros de cortes indicados na Figura 2 pelas linhas verticais pontilhadas.

Desta forma os grupos prioritários passam a ser primeiro entre o grupo 18 e 23, depois entre os grupos 4 e 9, seguidos pelos grupos 24 a 26, grupos 10 a 17 e por ultimo grupos 1 a 4.

Essa análise cruzada das duas metodologias de priorização permitiram uma melhora na eficiência relativa de atuação em cada trecho, sem deixar de lado a análise qualitativa de trechos mais críticos realizada pelo especialista do trecho, atendendo assim a visão dele melhorada com a eficiência que não é achado facilmente mensurável sem a ajuda da metodologia DEA e do modelo de otimização implementado.

5.2 EXPERIMENTO II

Dado a necessidade de agrupar mais a realização da otimização em trechos maiores, para o segundo experimento foi alterado o valor do parâmetro T para 10, ou seja, o tamanho dos grupos de quilômetros é alterado passando a existir apenas 13 trechos a serem priorizados dentro do corredor de 128 quilômetros.

Após rodar o modelo modificado no AIMMS, a Figura 3 traz as eficiências relativas para os 13 grupos classificadas do maior para o menor, sendo prioritários os grupos 10, 11 e 13 que em termos de quilômetros corresponde com a região demarcada entre o bloco 1 e 3 na Figura 2.

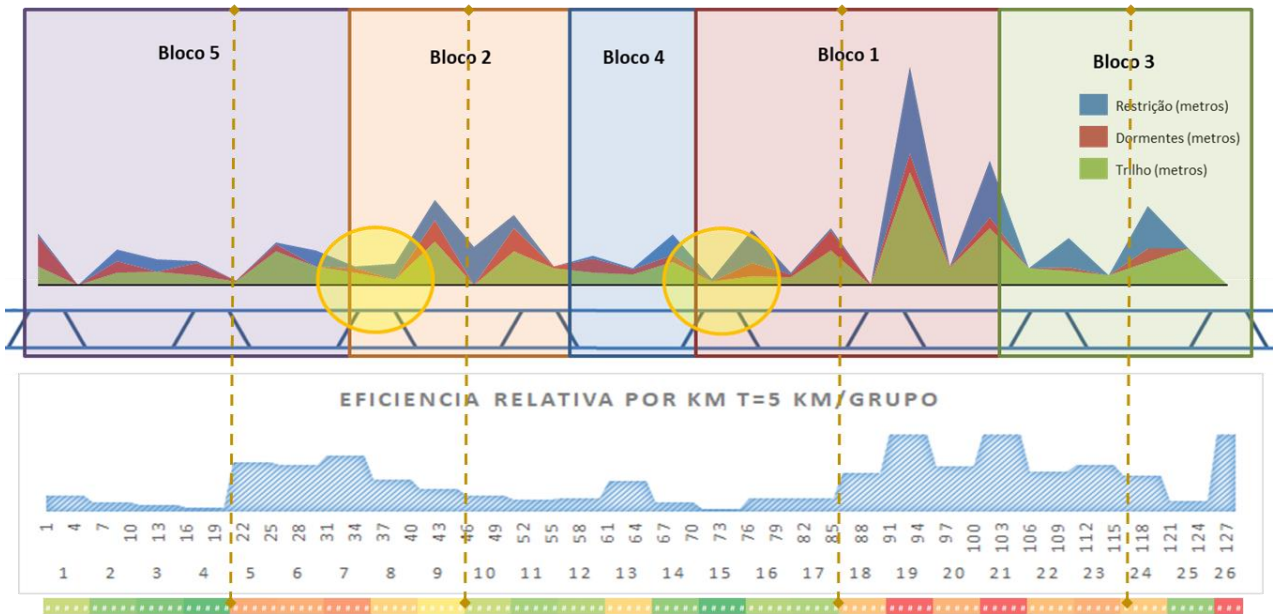


Figura 2 - Comparativo da estratégia inicial com a estratégia modelada de eficiência relativa através do método DEA.

A estratégia definida pelo experimento II traz uma modificação importante na estratégia inicial, demonstrando que o grupo 13, que corresponde aos últimos 10 quilômetros do trecho que a princípio estavam alocados como prioridade 3 são prioritários na realização antes de grupos pertencentes ao bloco 1 e 2, trazendo a perspectiva de realização desse trecho antes dos demais, garantindo assim uma manutenção mais eficiente.

Grupo	Eficiência
10	1,000
11	1,000
13	1,000
3	0,952
4	0,898
12	0,716
9	0,512
7	0,480
5	0,449
6	0,296
1	0,278
8	0,242
2	0,093

Figura 3 - grupos de 10 quilômetros priorizados pelo método DEA.

5.3 EXPERIMENTO III

Para o terceiro experimento foi definido ser retirada da priorização a atividade de soldas no trecho, por entender que se o

recurso para a realização dessa atividade por escasso, talas podem ser colocadas no trecho desde que sejam retiradas em um horizonte de médio prazo, logo essa atividade não precisa ser priorizada dentro do modelo.

Todas atividades:		Atividades críticas: (retirando solda)	
Grupo	Eficiência	Grupo	Eficiência
19	1,000	19	1,000
21	1,000	21	1,000
26	1,000	7	0,682
7	0,726	26	0,600
5	0,635	23	0,540
6	0,609	6	0,521
23	0,605	22	0,497
20	0,580	5	0,485
22	0,520	20	0,425
18	0,494	18	0,334
24	0,461	24	0,322
8	0,414	8	0,267
13	0,394	13	0,221
9	0,291	9	0,204
10	0,207	10	0,137
1	0,204	1	0,130
16	0,174	17	0,118
12	0,172	16	0,112
17	0,161	11	0,105
11	0,148	14	0,097
25	0,127	12	0,096
14	0,123	25	0,078
2	0,120	3	0,032
3	0,087	4	0,027
4	0,040	2	0,020
15	0,032	15	0,019

Figura 4 - comparação da priorização dos trechos com e sem a atividade de solda.

A *Figura 4* compara a priorização do trecho com e sem a atividade de solda, demonstrando que a mesma não estava impactando tanto no modelo otimizado, não gerando grandes mudanças na priorização, porém alguns grupos, a exemplo o grupo 26 e 5, poderiam ter sua ordem invertida com outros grupos que são mais eficientes quando a atividade de solda é desconsiderada do modelo, obtendo assim uma otimização global melhor que o modelo inicial.

6. CONCLUSÃO

O presente trabalho discutiu o problema de priorização das atividades de manutenção em uma malha ferroviária com base na utilização do método de Análise Envoltória de Dados (DEA) e apresentou um modelo de formulação matemática para sua resolução, capaz de maximizar a eficiência relativa para atuação da manutenção nesse trecho, levando em consideração as entradas e saídas definidas para o modelo. Através da utilização do modelo DEA foi possível obter a eficiência de todos os grupos de quilômetros pré-estabelecidos, bem como classificá-los priorizando as maiores eficiências. Isto permite que seja determinado a ordem de realização das atividades de manutenção para o local.

Para o modelo estudado que se trata de um projeto de recuperação do trecho, foram escolhidas como saídas indicadores que buscavam refletir a priorização do aumento da tonelada útil do vagão para o trecho e as rampas de declive com maior potencial de aumento da velocidade, buscando melhorar assim a eficiência energética no trecho, porém o método DEA aplicada a um cenário tão diferente do padrão para tal modelo abre uma gama de diversas possibilidades de aplicação, alterando os indicadores de saída livremente pelo usuário, com o intuito de obter a eficiência de trechos ferroviários em outros contextos diversos e ampliar a aplicação da ferramenta na manutenção ferroviária, contribuindo com uma ferramenta quantitativa de análise de dados, no caminho do que se espera para implantação plena da ferrovia 4.0.

7. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, além do apoio da PUC-Rio, UFJF e da MRS Logística S.A.

8. REFERÊNCIAS

- [1] CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6),429-444, 1978.
- [2] LOPES, A.L.M., LAPA, J.S. e LANZER, E. Análise Envoltória de dados: uma nova ferramenta para a avaliação multidimensional do setor de serviços. XX ENAMPAD, Angra dos Reis, 1996.
- [3] LOVELL, C.A.K.; SCHMIDT, S.S. (eds.), *The measurement of productive efficiency*. New York, Oxford University, 1993.
- [4] NUNES, N. Avaliação da eficiência produtiva de departamentos universitários: uma aplicação de Análise Envoltória de Dados. Dissertação de Mestrado, UFSC. Florianópolis, 1998.