



Universidade Federal de Minas Gerais
Faculdade de Ciências Econômicas
Centro de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração
Programa de Pós-Graduação em Administração

**EFICIÊNCIA NO TRANSPORTE FERROVIÁRIO DE CARGAS: ANÁLISE
DE PROJETOS DE MELHORIA CONTÍNUA**

JOÃO GABRIEL VIANA PESSOA NUNES

BELO HORIZONTE

2023

JOÃO GABRIEL VIANA PESSOA NUNES

**EFICIÊNCIA NO TRANSPORTE FERROVIÁRIO DE CARGAS: ANÁLISE
DE PROJETOS DE MELHORIA CONTÍNUA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação e Pesquisas em Administração do Centro de Pós-graduação e Pesquisas em Administração da Faculdade de Ciências Econômicas como requisito para a obtenção do título de Mestre em Administração.

Área de concentração: *Estratégia, Mercadologia e Operações*

Orientador: *Prof. Dr. Ricardo Silveira Martins*

BELO HORIZONTE

2023

Ficha catalográfica

N972e
2023

Nunes, João Gabriel Viana Pessoa.
Eficiência no transporte ferroviário de cargas [manuscrito] :
análise de projetos de melhoria contínua / João Gabriel Viana
Pessoa Nunes. – 2023.
79 f.: il. e tábs.

Orientador: Ricardo Silveira Martins.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas
Gerais, Centro de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração.
Inclui bibliografia (f. 65-69) e apêndices.

1. Transporte ferroviário – Teses. 2. Logística empresarial –
Teses. 3. Administração – Teses. I. Martins, Ricardo Silveira. II.
Universidade Federal de Minas Gerais. Centro de Pós-Graduação e
Pesquisa em Administração. III. Título.

CDD: 658.78

Elaborado por Leonardo Vasconcelos Renault CRB-6/2211
Biblioteca da FACE/UFMG – LVR/088/2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS
CENTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISAS EM ADMINISTRAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ADMINISTRAÇÃO do Senhor **JOAO GABRIEL VIANA PESSOA NUNES**, REGISTRO Nº 766/2023. No dia 29 de maio de 2023, às 9:00 horas, reuniu-se na Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, a Comissão Examinadora de Dissertação, indicada pelo Colegiado do Centro de Pós-Graduação e Pesquisas em Administração do CEPEAD, em 17 de maio de 2023, para julgar o trabalho final intitulado "**EFICIÊNCIA NO TRANSPORTE FERROVIÁRIO DE CARGAS: ANÁLISE DE PROJETOS DE MELHORIA CONTÍNUA**", requisito para a obtenção do **Grau de Mestre em Administração**, linha de pesquisa: **Estratégia, Mercadologia e Operações**. Abrindo a sessão, o Senhor Presidente da Comissão, Prof. Dr. Ricardo Silveira Martins, após dar conhecimento aos presentes o teor das Normas Regulamentares do Trabalho Final, passou a palavra ao candidato para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores com a respectiva defesa do candidato. Logo após, a Comissão se reuniu sem a presença do candidato e do público, para julgamento e expedição do seguinte resultado final:

APROVAÇÃO

REPROVAÇÃO

A aprovação foi, no entanto, condicionada às seguintes alterações a serem realizadas pelo candidato no prazo de 1 mês:

- Aprimorar resumo, conforme apontamentos da Professora Leydiana
- Incluir bibliografia indicada, conforme apontamentos da Professora Leydiana
- REVISÃO GERAL DAS NORMAS TÉCNICAS: Título de tabelas, Figuras, referências e citações
- Melhorar qualidade das imagens
- Pág. 17: revisar texto. Talvez seja melhor omitir os 2 primeiros parágrafos, conforme indicado pela Professora Fátima

MUDANÇAS/REVISÕES ESTRUTURAIS

- Revisar objetivos do estudo
- Melhorar justificativas para as escolhas o caso e do método
- DECIDIR pela continuidade do uso de tku e tu como variáveis, justificando. Avaliar correlação entre ambas
- Descrever variáveis pá. 43
- Reescrever modelos (pág 28)
- REVISAR INTRODUÇÃO, contextualizando o texto tendo como foco EFICIÊNCIA enquanto questão de GESTÃO, que visa RESULTADOS, e não como questão de COMPETIÇÃO
- justificar cada projeto operacional e sua relação com a EFICIÊNCIA
- Retirar testes paramétricos (Shapiro,...)

- Esclarecer Projetos estudados como MELHORIA x MELHORIA CONTÍNUA
- Revisar avaliação equivocada dos lâmbidas
- DESCREVER PROJETOS EFICIENTES
- ANALISAR OS PESOS e indicar claramente QUAIS SÃO AS VARIÁVEIS RELEVANTES

O resultado final foi comunicado publicamente ao candidato pelo Senhor Presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar, o Senhor Presidente encerrou a reunião e lavrou a presente ATA, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora. Belo Horizonte, 29 de maio de 2023.

Prof. Dr. Ricardo Silveira Martins
ORIENTADOR - CEPEAD/UFMG

Profª. Drª. Leydiana de Sousa Pereira
CEPEAD/UFMG

Profª. Drª. Fátima Machado de Souza Lima
CEPEAD/UFMG

Prof. Dr. Ricardo Augusto Oliveira Santos
CODEMGE



Documento assinado eletronicamente por **Ricardo Silveira Martins, Professor do Magistério Superior**, em 29/05/2023, às 22:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Leydiana de Sousa Pereira, Professora do Magistério Superior**, em 30/05/2023, às 09:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fátima Machado de Souza Lima, Professora do Magistério Superior**, em 31/05/2023, às 09:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ricardo Augusto Oliveira Santos, Usuário Externo**, em 01/06/2023, às 20:08, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2339708** e o código CRC **7DDA6418**.

Aos meus amores

Janio e Sonia...

“Pai e mãe / ouro de mina”

pelo estímulo e presença
nos momentos de minha ausência;

Isabella...

“O amor é um grande laço”

pelo companheirismo e apoio amoroso
na luta diária do profissional mestrando;

Alicia e Pedro...

“Dorme anjo / papai vai lhe ninar”

motivo de inspiração no dia-a-dia
de trabalho e estudos.

(Djavan / Dorival Caymmi)

AGRADECIMENTOS

A gratidão não nos tira nada, ela é dom em troca, mas sem perda e quase sem objeto. A gratidão nada tem a dar, além do prazer de ter recebido.

ANDRÉ COMTE-SPONVILLE

Prof. Ricardo Silveira Martins,

pela paciência e respeito ao longo desta trajetória, orientando-me com sua experiência e conhecimento, na minha formação de pesquisador e profissional consciente da própria capacidade intelectual.

Ricardo Augusto Oliveira Santos,

pelos ensinamentos no decorrer do mestrado, como aliado amigo, ajudando-me a superar as barreiras surgidas neste longo caminho.

Professores e Colaboradores do Programa de Pós-Graduação em

Administração da Faculdade de Ciências Econômicas,

pela atenção, dedicação e colaboração. Sou-lhes grato pelo empenho de seguirem convictos de sua condição de principais pilares da educação, extensão e pesquisa deste país.

Profa. Esp. Leila Brito,

pelas terminologias exatas, para que esta pesquisa alcançasse o *status* linguístico exigido pela Academia, e pelo empenho e dedicação na assessoria de metodologia e revisão textual, normalização técnica e *design* gráfico desta pesquisa;

Isadora, Elisa e José Roberto...

pela presença e carinho nos momentos de ausência.

Amigos e colegas de mestrado...

pela convivência e compartilhamento de ideias alinhadas a um salutar companheirismo. Levarei todos vocês na memória.

Empresa VLI...

por todo apoio ao longo desta minha trajetória, permitindo-me expandir a formação profissional.

“A primeira regra de qualquer tecnologia utilizada nos negócios é que a automação aplicada a uma operação eficiente aumentará a eficiência. A segunda é que a automação aplicada a uma operação ineficiente aumentará a ineficiência.”

BILL GATES

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Estudo bibliométrico sobre DEA em ferrovias	20
Figura 2	Fronteira de eficiência para modelo CRS e VRS	26
Figura 3	Abordagem DEA voltada ao recurso ou ao produto	27
Figura 4	DMU's e o papel exercido pelo λ no DEA CRS	29
Figura 5	Árvore de decisão para projetos operacionais	39
Figura 6	GUT adaptada	41
Figura 7	Quantidade de variáveis utilizadas como <i>inputs</i>	43
Figura 8	Quantidade de variáveis utilizadas como <i>outputs</i> ativos	43
Figura 9	Sistema WAVE – Projetos utilizados na pesquisa	45
Figura 10	Book de premissas utilizado na coleta de dados dos ativos	46
Figura 11	Sistema E-dados de coleta e do número de funcionários	46
Figura 12	Sistema PPC System para coleta de dados de MKTU	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Técnicas aplicadas em estudos de eficiência em ferrovias entre 1980 e 2013	23
Tabela 2	<i>Inputs</i> encontrados na pesquisa bibliométrica	42
Tabela 3	<i>Outpus</i> encontrados na pesquisa bibliométricas	42
Tabela 4	<i>inputs e outpus</i>	44
Tabela 5	Dados utilizados no DEA / VRS	48
Tabela 6	Definição das variáveis para análise descritiva dos projetos operacionais	49
Tabela 7	Estatística descritivas das variáveis utilizadas	51
Tabela 8	Eficiência das DMU's a partir do DEA_VRS <i>Input</i>	52
Tabela 9	Percentual de DMU's eficientes ao longo dos anos em abordagem <i>Input</i>	52
Tabela 10	Frequência de referência das unidades eficientes para as unidades para as unidades ineficientes	53
Tabela 11	Resultado das folgas para as DMU's analisadas DEA_VRS	54
Tabela 12	Distribuição dos projetos operacionais (média aritmética)	55
Tabela 13	Percentual de incidência dos grupos de projetos das DMU's eficientes	56
Tabela 14	Caracterização dos projetos do grupo "Aumento de Carga".....	57
Tabela 15	Caracterização dos projetos do grupo "Trem Parado"	57
Tabela 16	Caracterização dos projetos do grupo "Circulação"	59
Tabela 17	Caracterização dos projetos do grupo "Planejamento"	59
Tabela 18	Descrição dos projetos presentes nas DMU's eficientes	60

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Estudos de eficiência nos transportes ferroviários	34
----------	--	----

LISTA DE SIGLAS

BRI	<i>Belt and Road Initiative</i> (Iniciativa de Cinturão e Rota)
CFO	<i>Chief Financial Officer</i> (Diretor Financeiro)
CRS	<i>Constant Return of Scale</i> (Retorno Constante de Escala)
DEA	<i>Data Envelopment Analysis</i> DMU – <i>Decision Making Units</i> (Análise Envoltória de Dados DMU – Unidades de Tomada de Decisão)
EFC	Estrada de Ferro Carajás
EFPO	Estrada de Ferro Paraná Oeste
EFVM	Estrada de Ferro Vitória-Minas
EVR	<i>Eesti Raudtee</i> (Ferrovia da Estônia)
FNS	Ferrovia Norte Sul
GUT	Acrônimo para Gravidade <i>versus</i> Urgência <i>versus</i> Tendência
OECD	<i>Organisation for Economic Cooperation and Development</i> (Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico)
OFI	Operador Ferroviário Independente
PLS	Projeto de Lei do Senado
RMN	Rumo Malha Norte
TKU	Tonelada Quilômetro Útil
TU	Tonelada Útil
VRS	<i>Variable Return of Scale</i> (Retorno Variável de Escala)

RESUMO

A instalação de escritório de projetos de melhoria contínua nos processos produtivos e administrativos é uma estratégia adotada pelas empresas na busca da eficiência. Essa aplicação vem crescendo em decorrência do acirramento da competitividade dos mercados. Neste cenário, a busca incessante da eficiência torna relevante os estudos que possam desvendar caminhos e apontar soluções. Isso acontece também no setor do transporte ferroviário nacional de cargas. Tendo como objetivo identificar os tipos de projetos de melhoria contínua que contribuem para a eficiência do transporte ferroviário de cargas, aplicou-se a metodologia DEA/VRS para definir as unidades de produção eficientes e assim caracterizá-las. Por meio de estudo de caso, amparada em análise bibliométrica, foram definidos os parâmetros utilizados na modelagem. Os resultados indicaram melhora da eficiência ao longo dos tempos e apresentaram robustez dos parâmetros utilizados. Com a segmentação dos projetos operacionais de melhoria contínua, foi possível identificar os tipos de projeto de maior relevância para a eficiência do transporte ferroviário de cargas, sendo eles caracterizados como aumento da quantidade de vagões por trem (alteração do trem tipo), aumento do peso médio de carga, melhora na performance de manobra, redução do tempo de transporte, o aumento da performance de carregamento e descarga, a redução do tempo de troca de maquinista, melhora da velocidade média e o aumento de velocidade admissível.

Palavras-chave: Ferrovia, Eficiência, Análise Envoltória de Dados, Melhoria Contínua

ABSTRACT

The installation of a continuous improvement project office in the production and administrative processes is a strategy adopted by companies in the search for efficiency. This application has been growing as a result of the increased competitiveness in the markets. In this scenario, the incessant search for efficiency makes studies that can unveil paths and point out solutions relevant. This is also true in the national railway cargo transportation sector. In order to identify the types of continuous improvement projects that contribute to the efficiency of railroad cargo transportation, the DEA/VRS methodology was applied to define the efficient production units and thus characterize them. Through a case study, supported by bibliometric analysis, the parameters used in the modeling were defined. The results indicated efficiency improvement over time and presented robustness of the parameters used. With the segmentation of the operational projects for continuous improvement, it was possible to identify the most relevant types of projects for the efficiency of railroad cargo transportation, characterized as the increase in the quantity of wagons per train (alteration of the train type), increase in the average cargo weight, improvement in the shunting performance, reduction in the transportation time, increase in the loading and unloading performance, reduction in the driver change time, improvement in the average speed and increase in the admissible speed.

Keywords: Railroad, Efficiency, Data Envelopment Analysis, Continuous Improvement

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Problema de pesquisa	15
1.2	Objetivos	17
1.2.1	Objetivo geral	17
1.2.2	Objetivos específicos	17
1.3	Justificativa	17
1.4	Contribuição teórica e empírica	20
2	REFERENCIAL TEÓRICO	22
2.1	Medidas de eficiência	22
2.2	Análise Envoltória de Dados – DEA	24
2.2.1	Tipos de DEA	25
2.2.2	Programação Linear	27
2.3	Eficiência no transporte ferroviário	29
2.4	Melhoria contínua	33
3	METODOLOGIA	37
3.1	Estratégia investigativa	37
3.1.1	O caso em estudo	38
3.2	Definição dos projetos operacionais de melhoria	39
3.3	Modelo de análise	41
3.4	Coleta de seleção de dados	44
3.5	Análise descritiva dos projetos operacionais	48
4	ANÁLISE DOS RESULTADOS	51
4.1	Eficiência técnica	51
4.2	Análise descritiva e características dos projetos operacionais de melhoria contínua	55
4.3	Implicações gerenciais	61
5	CONCLUSÃO	63
5.1	Limitações da pesquisa	63
5.2	Expansão temática	64
	REFERÊNCIAS	65
	APÊNDICE	

1 INTRODUÇÃO

As organizações perseguem o objetivo de transformar recursos em oferta de produtos ou serviços que proporcionem valor aos seus clientes. Uma das formas de entender e avaliar o valor gerado pode ser por meio do desempenho obtido em relação aos recursos utilizados. Nesse contexto, o ato de administrar ou de gerir recursos, pessoas ou qualquer objeto que possa ser administrado se torna relevante para as organizações.

Na ótica administrativa, a noção de eficiência e eficácia remete a critérios tradicionais de natureza econômica, voltada à medição do desempenho organizacional, para avaliar as perspectivas de melhoria nos modelos tradicionais (KAO *et al.*, 1995; BRULON *et al.*, 2013). Na concepção de Mouzas (2006), eficiência e eficácia constituem os principais objetivos da avaliação do desempenho organizacional, por conformarem, conjuntamente, um dos maiores desafios conceituais, pois relacionados a um satisfatório resultado empresarial. Almeida, Mariano e Rebelatto (2006), com base em Tupy e Yamaguchi (1998), definem eficiência organizacional como a utilização dos recursos disponíveis da melhor maneira possível, com vistas à obtenção de um desempenho superior.

A adoção de práticas de gestão de processos tem sido vista como uma forma de apoio ao progresso gerencial na busca por melhores resultados. Dessa forma, as organizações devem utilizar metodologias analíticas e de mapeamento de processos para crescerem na era da informação (ASSUNÇÃO; MENDES, 2000).

De acordo com o ABPMP (2009) gerenciar processos é ter uma abordagem disciplinada para identificar, desenhar, executar, documentar, medir, monitorar, controlar e melhorar processos, para alcançar resultados pretendidos constantes e alinhados com as metas estratégicas da organização. A melhoria contínua se apresenta como sistemática por utilizar uma abordagem científica em que o processo de resolução de problema é estruturado em etapas como a identificação das causas, escolha, planejamento e padronização da solução (ATTADIA; MARTINS, 2003).

1.1 Problema de pesquisa

Tomikawa e Goto (2022) demonstraram em seu estudo que o transporte ferroviário no Japão aumentou a sua eficiência operacional após as privatizações em 1986. Antes da privatização o escore de eficiência operacional variava entre 0,7 e 0,8, enquanto que, após, o

escore de eficiência passou a variar entre 0,9 e 1,0. Portanto, a privatização das ferrovias brasileiras entre 1996 e 1998, nutriu a expectativa do setor ferroviário aumentar sua participação na matriz de transporte de carga nacional por meio da melhora na eficiência produtiva. Entretanto, o que se observou foi uma especialização, da parte das concessionárias, para atendimento a dois segmentos específicos do mercado: minério de ferro e graneis agrícolas. Tal arranjo incentivou o Estado a iniciar uma série de reformas no setor, com o objetivo de aumentar sua eficiência (SILVA *et al*, 2019).

Entretanto, apesar das reformas realizadas no setor, as empresas ferroviárias ainda apresentam baixos índices de eficiência. Caldas *et al*. (2012) demonstram que as empresas ferroviárias brasileiras possuem escore de eficiência inferior às empresas ferroviárias norte-americanas. E num comparativo nacional, Assis *et al*. (2017) atestam, que apenas a ferrovia Estrada de Ferro Carajás (EFC) vem apresentando um resultado satisfatório em relação à eficiência. Da Silva *et al* (2020) corrobora a baixa eficiência do transporte ferroviário de cargas, apresentando no seu estudo um resultado de baixo escore de eficiência para a concessionária RUMU-ALL, estando 75% dos resultados entre 0 e 0,3 de eficiência.

Uma estratégia adotada pelas empresas na busca da eficiência, encontram-se a instalação de escritórios de projetos de melhoria contínua nos processos produtivos e administrativos. Oprime, Monsanto e Donadone (2010) atestam que a aplicação, pelas empresas, da melhoria contínua vem crescendo, em decorrência do acirramento da competitividade dos mercados. Gilsa (2012) acrescenta a vigente convicção, de que as variáveis relacionadas aos projetos de melhoria podem contribuir para aumentar a eficiência. Portanto, a realização de estudos abordando as relações entre melhoria contínua e eficiência pode contribuir na avaliação dos resultados dos projetos de melhoria da modalidade ferroviária (SOUZA, 2014).

Uma outra estratégia para aumentar a eficiência são as fusões ou aquisições, Costa *et al* (2023) apresenta que após uma fusão entre empresas de transporte rodoviário e ferroviário em Portugal houve um aumento da eficiência econômica de ambas, principalmente em momentos de crise. Da Silva *et al* (2020) corrobora que a fusão entre empresas aumenta a eficiência.

Considerando o transporte ferroviário brasileiro como um setor apto às oportunidades de crescimento em eficiência e sabendo que empresas adotam projetos operacionais de melhoria como estratégia para aumentar sua eficiência, tem-se a seguinte questão de pesquisa: *Como projetos operacionais de melhoria contínua podem impactar a eficiência no transporte ferroviário de cargas?*

1.2 Objetivos

A fim de responder à questão formulada, propõe-se uma análise aprofundada de viés teórico-prático, que para além de levar ao entendimento das especificidades do tema, atenda ao propósito deste estudo de investigar medidas que assegurem ao transporte ferroviário um alto potencial de eficiência.

1.2.1 Objetivo geral

Identificar os tipos de projetos operacionais de melhoria contínua que contribuem para a eficiência do transporte ferroviário de cargas.

1.2.2 Objetivos específicos

- Definir os recursos (*inputs*) e produtos (*outputs*) que melhor representam a eficiência no transporte ferroviário de cargas;
- Contextualizar a aplicação de projetos operacionais de melhoria contínua no âmbito da modalidade ferroviária de transporte de cargas.
- Especificar os projetos operacionais de melhoria contínua de maior relevância para a eficiência do transporte ferroviário de cargas; e
- Analisar os tipos de projetos de melhoria contínua que estão presentes em situações de eficiência do transporte ferroviário de cargas.

1.3 Justificativa

O setor de transporte está diretamente vinculado ao progresso de uma nação. Um país torna-se competitivo à medida que a infraestrutura de transporte passa a atender as necessidades e demandas para escoamento da sua produção. Neste contexto, a indústria ferroviária exerce um importante papel no sistema de transportes, tendo como vantagem, a capacidade de transportar grandes volumes por longas distâncias a um custo menor em relação a outros meios de transporte (CALDAS *et al.*, 2012). Com o aumento da demanda pela modalidade ferroviária

após décadas de baixo uso, o transporte de carga por ferrovia passa por pressão do mercado, para manter baixos custos (BECK *et al.*, 2013).

O Brasil possui 26.933 km de malha ferroviária construída, distribuídas pelas regiões Sul, Sudeste, Nordeste, Centro-Oeste e Norte do país (ANTT, 2023). Segundo Pereira *et al* (2015), a modalidade ferroviária é utilizada no escoamento da produção, principalmente de *commodities*, para os portos, sendo tal modalidade mais indicada para cargas como graneis agrícolas e minérios. Sendo o Brasil um grande produtor dessas *commodities*, o ideal é intensificar o uso das ferrovias.

Além do sucateamento da infraestrutura ferroviária decorrente da insuficiência de investimentos, as ferrovias nacionais apresentam baixa eficiência. Assis *et al* (2017) atestam que as ferrovias brasileiras apresentam baixo escore de eficiência, haja vista apenas 38% delas se mostrarem eficientes, quando comparadas à Estrada de Ferro Carajás (EFC), apontada como ferrovia benchmark em eficiência (FONTAN *et al*, 2022).

Portanto, como problemas estruturais comprometem a eficiência ferroviária, importante se faz o direcionamento de investimentos no setor. No Brasil, de 2006 a 2021 foram investidos R\$ 69 bilhões em ferrovias, em capital direcionado à expansão da malha ferroviária, solução de entraves, aquisição de material rodante, sinalização, telecomunicação, oficinas e capacitações (CNT, 2023).

Mello Filho (2022) relata que o transporte ferroviário de cargas deixou de ter um perfil monopolista após as alterações regulatórias. Dentre as quais a Lei nº 12.743, de 19 de dezembro de 2012, que possibilitou a operação do transporte ferroviário de cargas dissociada da exploração da infraestrutura ferroviária pelo Operador Logístico Independente (OFI). Dessa forma, salta à vista a necessidade de gerenciar os parâmetros de eficiência das empresas do setor, promovendo competição entre os operadores ferroviários. O tema *eficiência das ferrovias brasileiras* ganhou importância na política governamental, e nesse contexto, as empresas ferroviárias que não melhorarem seus desempenhos, poderão enfrentar dificuldades para sobreviver no mercado interno.

Referenciado por Pereira *et al* (2015), na presente pesquisa será utilizado o modelo DEA – *Data Envelopment Analysis* como ferramenta para cálculo de eficiência, visto ser a ferramenta mais utilizada em estudos sobre eficiência no transporte ferroviário. Além da relevância em estudos de eficiência a análise envoltória de dados apresentam vantagens em sua abordagem, tais como: possui diferenciação em relação aos métodos baseados unicamente em valores econômicos, os índices de eficiência são obtidos através de dados reais, sem formulação teóricas, considera todos os resultados da avaliação como possíveis benchmarks a serem

utilizados pelas unidades de produção e aperfeiçoa cada uma das observações individuais, determinando uma fronteira linear por partes, referente ao conjunto de unidades de produção (LINS; MEZA, 2000).

Uma das vantagens da análise utilizando DEA é a sua ampla possibilidade de aplicação. Yang *et al* (2023) utilizam a análise DEA de modo a ranquear as passagens de nível (nomeado ao cruzamento entre uma ferrovia e uma rodovia) considerando benefícios não monetários, dentre eles, segurança e meio ambiente.

A partir da escolha da ferramenta DEA como técnica de cálculo da eficiência produtiva abordada nesta pesquisa, realizou-se um levantamento bibliométrico da sua aplicação no transporte ferroviário de cargas. O objetivo foi analisar estudos recentes sobre a ótica dos *inputs* e *outputs* utilizados no campo ora pesquisado para, com esses dados, sustentar a metodologia de pesquisa proposta.

Dessa forma, a partir de pesquisa nos bancos de dados acadêmicos Portal CAPES e SCOPUS, valendo-se das palavras-chave “DEA Ferrovia” e “DEA *freight railroad*” encontrou-se 72 estudos, que tendo o processo DEA como suporte, analisaram a eficiência no transporte ferroviário de cargas. Pesquisas que, aplicando o critério de exclusão: data anterior a 2002, duplicidade, análise de eficiência de processos relacionados à ferrovia (por exemplo, manutenção de via permanente, manutenção de material rodante) e indicadores não operacionais, serviram de base para a seleção dos estudos acadêmicos considerados neste estudo. Importa esclarecer, que os critérios de exclusão foram definidos com base na proposta de um escopo teórico composto de relevantes artigos sobre o tema, envolvendo, na análise de projetos operacionais, a eficiência do transporte ferroviário de cargas.

Neste contexto, dos 72 estudos encontrados no processo de pesquisa bibliométrica, 23 foram considerados relevantes para o presente estudo, por abordarem a utilização do DEA em análises envolvendo elementos administrativos próprios da avaliação dos serviços prestados no campo das ferrovias. Assim, valendo-se de indicadores operacionais como variáveis de *input* e *output*, este estudo reuniu os 23 artigos investigativos da sua utilização em demandas metodológicas concernentes com a proposta neste estudo. A Figura 1 resume o estudo bibliométrico realizado nesta pesquisa.

FIGURA 1 – Estudo Bibliométrico sobre DEA em ferrovias



Fonte: Elaborado pelo autor

1.4 Contribuição teórica e empírica

No plano das contribuições teóricas desta pesquisa, destacam-se, na economia, os estudos sobre eficiência de Michael J. Farrel (1957, 1961). Em sua pesquisa pioneira *The Measurement Productive Efficiency*, Farrel (1957) apresentou a ideia da medida de eficiência técnica como diferente da eficiência alocativa, propondo um método de medição da eficiência pela medida radial. Dando sequência à sua teoria, Farrel (1961) criou o método do retorno constante de escala, no artigo: *On convexity efficiency and markets*, focando as especificidades dos retornos variáveis (FARREL, 1957, 1961). Destaca-se, também, a visão de Mariano (2007) da eficiência como um sistema produtivo, ou qualquer outro tipo de sistema caracterizado pela produção de um conjunto de *outputs*, a partir de um conjunto de *inputs*.

Compondo a base teórica de Farrel (1957, 1961), destacando-se na exploração temática relativa à mensuração e seus efeitos no processo administrativo, validou-se, nesta pesquisa, os estudos dos teóricos: Charnes, Cooper e Rhodes (1978); Coelli, Prasada e George (1998); Cooper, Seford e Tone (2000); Marchetti e Wanke (2017); Mello Filho (2022); Pereira *et al* (2015); Rosa e Vieira (2019); Silva, Macambira e Rocha (2019), Yu e Lin (2007); Kuang (2018), Beck, Bente e Shilling (2013) e Cantos, Pastor e Serrano (1999). Na esfera nacional, destaque para o estudo de Mello, Andrade e Brandão (2005) sobre o modelo DEA e a seleção

de variáveis, em relativização do conceito de eficiência, pois comparando o que foi produzido com os recursos disponíveis, para aferir consonância com o que poderia ter sido produzido com os mesmos recursos.

No plano empírico, estima-se uma sólida contribuição do presente estudo às empresas do setor ferroviário de cargas, no que diz respeito à administração dos serviços prestados, segundo os critérios estabelecidos pela Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT. Atuação sensível, pois se por um lado, permeada por este rol de vantagens: (i) maior proteção às cargas transportadas; (ii) maior economia e rapidez na entrega; (iii) menor impacto ambiental; (iv) baixo custo do serviço; e (v) redução do gargalo logístico, por outro lado, permeada por este rol de desvantagens: (i) maior competitividade; (ii) investimentos escassos da parte governamental; (iii) inflexibilidade das rotas; e (iv) dependência de outros meios de transporte.

De toda forma, cabe ressaltar que, por seu caráter científico, este estudo proporcionará às empresas do setor de transporte ferroviário de carga inequívoca contribuição para uma atuação promissora. Principalmente, no que tange à utilização de projetos operacionais de melhoria contínua como alternativa para melhorar a eficiência do transporte ferroviário de carga.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A OECD (2001) define eficiência como um processo produtivo que atinge a quantidade máxima de produtos fisicamente alcançável com a tecnologia atual, dada quantidade fixa de insumo. Portanto, quando se busca eficiência, tem-se um movimento em direção às melhores práticas, assim como a busca pela eliminação das ineficiências existentes.

$$Eficiência = \frac{Produto}{Insumo}$$

Na ciência da Administração, Mariano (2007) apresenta a visão de eficiência como um sistema produtivo, ou qualquer outro tipo de sistema caracterizado pela produção de um conjunto de *outputs*, a partir de um conjunto de *inputs*. Mello, Andrade e Brandão (2005), no estudo com o modelo DEA e seleção de variáveis, relativizam o conceito de eficiência, comparando o que foi produzido com os recursos disponíveis, para aferir consonância com o que poderia ter sido produzido com os mesmos recursos.

2.1 Medidas de eficiência

A análise da eficiência teve início com o trabalho de Farrel (1957), a partir do qual se desenvolveram duas metodologias para sua mensuração: o método paramétrico e o método não-paramétrico. O método paramétrico ficou assim conhecido a partir dos trabalhos desenvolvidos por Aigner, Lovell e Schmidt (1977), tendo como linha mestra o modelo de fronteira estocástica. A estimativa da fronteira estocástica possibilita incorporar aos modelos os efeitos exógenos estocásticos, que influenciam na eficiência, e que podem ser separados dos fatores responsáveis pela eficiência técnica. A principal restrição da aplicação do modelo paramétrico é a necessidade de se especificar o sistema de produção de forma funcional.

Mariano (2007) traz um resumo das principais técnicas de análise da eficiência produtiva, informando os modelos matemáticos que as sustentam. A técnica paramétrica é voltada à função de produção propriamente dita, por relacionar os *inputs* às máximas quantidades de *outputs* possíveis de serem produzidos (por exemplo: os *inputs* das funções predeterminadas com os *outputs* da fronteira estocástica). Por outro lado, a técnica não paramétrica ou empírica constrói uma fronteira de eficiência, que serve de base para a análise

da eficiência técnica (como exemplo, tem-se a DEA como base analítica da técnica dos números-índices).

Schwengber (2006) também diferencia as técnicas de cálculo da eficiência, classificando-as em dois modelos: paramétrico e não-paramétrico. O modelo não-paramétrico baseia-se no envelopamento de dados para a formação da fronteira de eficiência, tendo como principal método a Análise Envoltória de Dados – DEA (*Data Envelopment Analysis*). Já o modelo não-paramétrico dispensa a aplicação de fórmula de mensuração da relação entre *inputs-outputs*, o que simplifica sua aplicação, tornando o método de mensuração de eficiência amplamente utilizado. As principais vantagens desse modelo é a presença de poucas hipóteses restritivas, o que permite a aplicação de análises com vários *inputs e outputs*, orientadas tanto para a otimização dos insumos (*input*) quanto para a maximização dos produtos (*output*).

Entretanto, tal modelo também apresenta desvantagens, por culminar em resultados enviesados, de acordo com a manipulação dos *inputs e outputs*, sendo, portanto, um modelo sensível à qualidade dos dados, por expor sua fronteira de eficiência à influência de fatores estocásticos, a saber, a erros de medição e a *outliers* (SCHWENGBER, 2006).

Trazendo a eficiência para o cenário do transporte ferroviário de cargas, Pereira *et al.* (2015) apresentam um resumo (ver Tabela 1) das técnicas utilizadas para medição de eficiência em ferrovias.

TABELA 1 – Técnicas aplicadas em estudos de eficiência em ferrovias entre 1980 e 2013

Ferramentas	Quantidade de Estudos
DEA e suas derivações	13
Fronteira estocástica	4
Painel de dados	3
Produtividade total dos fatores	2
Abordagem Fare	1
Abordagem Seifor	1
Modelo Tobit	1
Análise de eficiência multidirecional	1
Modelo teórico	1
Caves, Christensen e Swanson	1
TOTAL	28

Fonte: PEREIRA *et al.* (2015).

Pereira *et al.* (2015) realizaram um levantamento com 28 estudos onde 13 pesquisas utilizaram o DEA e as suas derivações (46,4%), com quatro delas valendo-se de Fronteira Estocástica (14,3%), três servindo-se de Painel de Dados (10,7%) e duas dispendo-se de Produtividade Total dos Fatores (7,1%). Os outros seis estudos sobre o tema não apresentaram recorrência na utilização de suas ferramentas, sendo destituídos.

Referenciado por Pereira *et al.* (2015), na presente pesquisa será utilizado o modelo DEA – *Data Envelopment Analysis* como ferramenta para cálculo de eficiência, visto ser a ferramenta mais utilizada em estudos sobre eficiência no transporte ferroviário. Além da relevância em estudos de eficiência o modelo DEA apresenta vantagens em sua abordagem, tais como: possui diferenciação em relação aos métodos baseados unicamente em valores econômicos, os índices de eficiência são obtidos através de dados reais, sem formulação teóricas, considera todos os resultados da avaliação como possíveis *benchmarks* a serem utilizados pelas unidades de produção e aperfeiçoa cada uma das observações individuais, determinando uma fronteira linear por partes, referente ao conjunto de unidades de produção (LINS; MEZA, 2000).

2.2 Análise Envoltória de Dados – DEA

Compreender o desempenho de unidades produtivas implica em estudos de diversos processos produtivos e na consideração de uma grande variedade de medidas de produtividade. Normalmente, essas metodologias envolvem o cálculo de taxas de eficiência, utilizando custo por unidade de produto (por exemplo: lucro por empregado). Cooper *et al.* (2000) denominam essas análises como sendo a busca por medições parciais da produtividade, visto que os indicadores resultantes não abrangem a totalidade de insumos e produtos utilizados no processo.

Pensando numa metodologia que seja abrangente, Charnes, Cooper e Rhodes (1978) apresentaram os fundamentos do modelo DEA - sendo esse estudo um aprofundamento das medidas parciais de eficiência. O DEA se desenvolve por meio da análise das unidades de produção ou *Decision Making Units* (DMU), que convertem múltiplos insumos em múltiplos produtos (COELLI *et al.*, 1998). Um diferencial desse método é que as DMU's podem ser comparadas entre si, e para isso, o conceito de eficiência relativa se torna relevante.

Cooper *et al.* (2004) definem que uma DMU é 100% eficiente se, e somente se, a *performance* dos valores de entrada (*inputs*) e saída (*outputs*) de outra DMU não possa ser melhorada sem piorar os demais valores de entrada (*inputs*) e saída (*outputs*), se dando assim o conceito de Eficiência Relativa. Sugere-se, portanto, que no conceito de eficiência relativa, as DMU's sejam comparadas entre si, sendo as mais eficientes aquelas que mostrarem não ser possível aumentar a produção de um produto sem que haja redução na produção de outros produtos ou aumento no consumo de insumos.

O modelo DEA tem como objetivo identificar e mensurar as eficiências relativas entre as DMU's selecionadas por meio da estimativa da fronteira de produção a partir de dados

obtidos de cada DMU, analisando quais são as DMU's mais eficientes. As DMU's mais eficientes estarão, necessariamente, situadas na fronteira de eficiência, e as menos eficientes estarão a uma certa distância da fronteira, sendo que quanto maior a distância da fronteira menos eficiente é a unidade de produção.

A aplicação da metodologia DEA requer quatro etapas para analisar a eficiência das unidades de produção, sendo elas: Especificação do modelo; Determinação dos *inputs* e *outputs* relevantes e apropriados para a análise; Aplicação dos modelos de análise envoltória de dados e análise dos resultados (BOWLIN, 1998)

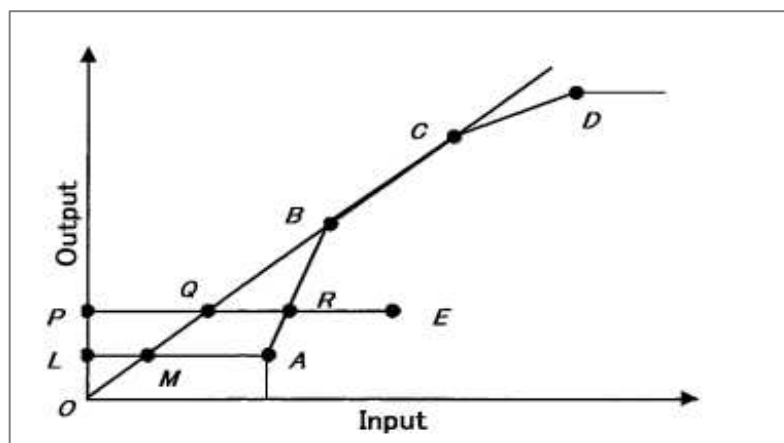
Na especificação do modelo Moita (1995) estabelece que as unidades de comparação devem pertencer a um conjunto homogêneo, sendo necessário seguir os seguintes requisitos: as unidades de produção (DMU's) devem desempenhar as mesmas tarefas com os mesmos objetivos; os *inputs* e *outputs* utilizados no processo e que caracterizam o desempenho de todas as unidades devem ser os mesmos.

2.2.1 Tipos de DEA

A economia de escala definida como: “quando o aumento do volume da produção de um bem por período reduz os seus custos” (POSSAS, 1993, pp. 70), é um importante fator dentro da técnica DEA. Olhando o cenário de unidade de produção, o conceito pode ser assim interpretado: o aumento da produção acarreta aumento de custos operacionais, porém em proporções inferiores ao que se aumenta de produção. Sendo assim, as DMU's podem apresentar retornos constantes para a escala (*Constant Return to Scale* ou CRS), situações em que o aumento da produção aumenta os custos na mesma proporção. Por outro lado, existem DMU's que apresentam retornos variáveis para a escala (*Variable Return to Scale* ou VRS).

É importante fazer a distinção, pois o modelo DEA apresenta formulações matemáticas distintas de acordo com comportamento das DMU's para o retorno de escala. O modelo CRS para o DEA calcula a eficiência por uma função linear, caracterizada pela melhor relação de proporção dos dados de saída com os dados de entrada. Por outro lado, o modelo VRS para o DEA possui uma variável que representa o fator de escala, não assumindo proporcionalidade entre os dados de entradas e saídas, permitindo assim, que DMU's que operem com baixos valores de *inputs* tenham retornos crescentes de escala e DMU's que operem com altos valores de *inputs* tenham retornos decrescentes. A Figura 2 representa a diferenciação entre os modelos DEA CRS e VRS (COOPER; SEIFORD; TONE, 2006).

FIGURA 2 – Fronteira de eficiência para modelo CRS e VRS



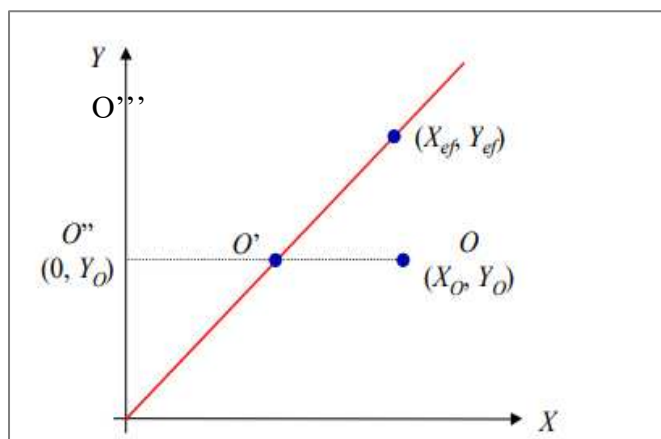
Fonte: COOPER, SEIFORD, TONE, 2006.

A reta que se inicia na origem do gráfico (de O a C) é a representação gráfica da curva de eficiência para o modelo DEA_CRS. A curva composta pelas retas AB, BC e CD é a representação gráfica da curva de eficiência para o modelo DEA_VRS. Ainda na Figura 2, as retas AM e RQ (ver posição inversa) representam a distância entre as curvas de eficiência dos modelos DEA_CRS e DEA_VRS. Nota-se, portanto, que o aumento do *output* (produção) interfere de maneira linear para o modelo CRS (reta) e de maneira não linear para o modelo VRS (curva).

Além do comportamento das DMU's no retorno pela escala, há uma variação da análise DEA, de acordo com a orientação do estudo, ou seja, o modelo pode ter uma orientação aos dados de entrada (*input*) ou uma orientação aos dados de saída (*output*). A orientação *input* tem como objetivo manter os produtos constantes e reduzir os recursos, enquanto a orientação *output* tem como objetivo manter os recursos constantes e maximiza a produção. Pode-se ver a abordagem gráfica dessa diferenciação na Figura 3 (MELLO *et al.*, 2005).

A Figura 3 representa a clássica curva de eficiência para modelo DEA/CRS com *input* e *output* unitário. No ponto O se faz a referência de uma DMU que está distante da curva de eficiência, ou seja, não esse trata de uma unidade produtiva eficiente neste exemplo. A linha tracejada no gráfico (OO') representa a orientação *input* para o modelo DEA/CRS, pois ela mantém a produção estável (eixo Y), e reduz o recurso até alcançar a curva de eficiência. Por outro lado, se traçássemos uma linha (OO'') teríamos uma abordagem DEA orientada ao *output*, visto que manter-se-iam constantes os recursos (eixo X), e se ampliaria a produção até alcançar a curva de eficiência (MELLO *et al.*, 2005).

FIGURA 3 - Abordagem DEA voltada ao recurso ou ao produto



Fonte: MELLO et al. (2005).

2.2.2 Programação Linear

Existem dois modelos matemáticos para abordagem do DEA/CRS orientado ao *input*, o modelo de *multiplicação* e o modelo de *envelope*. Pelo conceito de dualidade em programação linear, tem-se que o resultado alcançado pelo modelo multiplicador é o mesmo alcançado pelo modelo de envelope. Sendo assim, a escolha pelo modelo, deve-se ao propósito dos mesmos (MELLO *et al*, 2005).

$$\text{Max } z = \sum_{j=1}^S \mu_j y_j \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^R v_i x_{io} = 1$$

$$\sum_{j=1}^S \mu_j y_{jk} - \sum_{i=1}^R v_i x_{ik} \leq 0 \quad k = 1, \dots, n$$

$$\mu, v \geq 0$$

em que:

y = quantidade de produto j;

x = quantidade de insumo i;

μ e v : variáveis de decisão; $i = 1, 2, \dots, R$; $j = 1, 2, \dots, S$.

Coelli (2005) informa que a abordagem DEA/CRS é apropriada, quando as unidades de produção estão todas operando numa escala ótima. Entretanto, regulações governamentais, restrições financeiras e concorrências podem fazer as unidades de produção operar fora de sua escala ótima. Nesses cenários onde há uma variação de escala produtiva, ou seja, as DMU's

não estão operando em sua escala ótima, o modelo DEA adequado a se utilizar é o *Variable Returns to Scale* (VRS). Para se chegar na modelação matemática do DEA/VRS é necessário, apenas, acrescentar uma variável μ_0 na Equação 1 e na restrição, conforme a Equação 2.

$$\text{Max Eff} = \sum_{j=1}^S \mu_j y_j + \mu_0 \quad (2)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^R v_i x_i = 1;$$

$$\sum_{j=1}^S \mu_j y_{jk} - \sum_{i=1}^R v_i x_{ik} + \mu_0 \leq 0;$$

$$\mu \text{ e } v \geq 0;$$

$$\mu_0 \text{ irrestrito}$$

$$\mu_0 \text{ associado a restrição de convexidade } \sum \lambda = 1 \text{ na equação 3}$$

em que:

y = quantidade de produto j na DMU k

x = quantidade de insumo i na DMU k

$\mu \text{ e } v$ = variáveis de decisão; $i = 1, 2, \dots, R$; $j = 1, 2, \dots, S$; $k = 1, 2, \dots, n$

$$h_0^* = \min h_0 \quad (3)$$

Sujeito a:

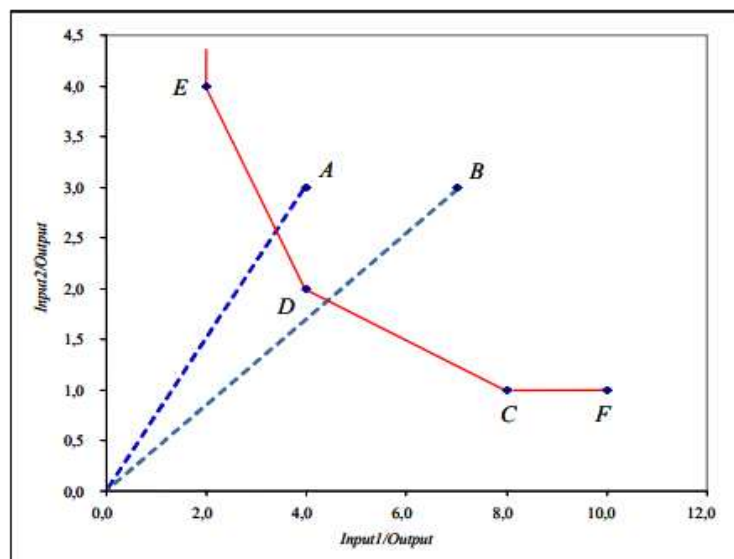
$$\sum_{k=1}^N x_{ik} \lambda_k \leq h_0 \times x_{i0}; \quad i = 1, 2, \dots, R;$$

$$\sum_{k=1}^N y_{jk} \lambda_k \geq y_{j0}; \quad j = 1, 2, \dots, S;$$

$$\sum_{k=1}^N \lambda_k = 1;$$

$$\lambda_k \geq 0; \quad k = 1, 2, \dots, n$$

Neste modelo (equação 3) os λ_k são os pesos desconhecidos em que k variando de 1 até n corresponde ao número da DMU. Apresentados os modelos matemáticos para o DEA/CRS e DEA/VRS, agora se faz importante a interpretação geométrica dessas equações, para facilitar o entendimento, assim como passar a importância da variável. A Figura 4 vai auxiliar essa interpretação.

FIGURA 4 – DMU's e o papel exercido pelo λ no DEA CRS

Fonte: MELLO *et al.*, 2005.

A Figura 4 apresenta uma plotagem do resultado de uma análise DEA/CRS com orientação ao *input* tendo duas variáveis de entrada de uma variável de saída. Cada letra (A, B, C, D, E, F) representa uma DMU sendo a curva em vermelho uma isoquanta que representa a curva de eficiência desse grupo de DMU's. Vamos aprofundar na análise da DMU A: se traçarmos uma reta da origem até a DMU A, veremos que essa reta cruza a curva de eficiência na reta DE (λ_E e λ_D possuem valores diferentes de 0), estando a DMU A mais próxima da DMU D do que da DMU E, sendo assim, a DMU D é a DMU *benchmark* para a DMU A, portanto o λ_D é maior do que o λ_E (MELLO *et al.*, 2005).

Além do *benchmark*, a forma linear segmentada da fronteira de eficiência pode fazer com que surjam folgas. Ainda na Figura 4, se observarmos a DMU F apesar de estar na fronteira de eficiência, ela tem um comportamento diferente das demais, ela pode sofrer uma redução do *input* 1, mantendo constante o *input* 2 e ainda assim permanecer na fronteira de eficiência. Essa quantidade de redução do *input* 1 que a DMU F pode sofrer sem afetar a fronteira de eficiência é conhecida como folga (MELLO *et al.*, 2005).

2.3 Eficiência no transporte ferroviário de cargas

Vieira (2003) considera o transporte ferroviário apropriado para viagens de média e longa distância, e para transportar mercadorias a granel, como petróleo e seus derivados, produtos agrícolas (milho, soja, farelos), industrializados (açúcar, fertilizantes, celulose, tórcos), minérios e produtos siderúrgicos. Produtos de grande concentração de volume e baixo

valor agregado. Ainda em Viera (2003), a minimização da poluição e de congestionamentos são outros fatores positivos considerados destacando-se a capacidade dos trens de transportar grande quantidade de carga a um preço relativamente baixo.

Rosa e Vieira (2019) estudaram a eficiência das ferrovias com um olhar abrangente, ou seja, desconsiderando abordar as empresas ferroviárias de forma individualizada. E por meio do modelo DEA chegaram à conclusão de que o Brasil e a França são os países que apresentam a melhor eficiência no referido transporte de cargas, considerando os recursos utilizados. Cabe salientar que Rosa e Vieira (2019) utilizaram como recursos (*inputs*) a extensão de malha ferroviária, o número de locomotivas e o número de trabalhadores; e como produto (*outputs*), a tonelage de carga transportada, a receita gerada pelo setor e a cobertura da malha ferroviária. Variáveis aplicadas aos países: Brasil, França, Alemanha, Espanha, Suécia e Estados Unidos.

Silva, Macambira e Rocha (2019) analisaram a eficiência produtiva do sistema ferroviário brasileiro, composto por 12 concessionárias. Por meio de análise DEA utilizando 5 variáveis como *input* (número de trens formados, consumo de combustível, utilização de locomotiva, utilização de vagão e número de empregados) e tendo como *output* apenas uma variável (tonelada quilômetro útil), os autores chegaram à conclusão de que as ferrovias: Estrada de Ferro Carajás – EFVM, Malha Regional Sudeste S/A ou MRS Logística S/A (MRS), Estrada de Ferro Vitória-Minas S/A (EFVM), Rumo Malha Norte S/A (RMN), e a Estrada de Ferro Paraná Oeste S/A (EFPO) apresentam inquestionável eficiência no transporte ferroviário de cargas, considerando as variáveis utilizadas.

Outros autores, dentre eles Pereira *et al.* (2015), também analisaram a eficiência das concessões ferroviárias no Brasil por meio de análise DEA. Entretanto, utilizaram variáveis de *input* e *output* diferentes das utilizadas por Silva, Macambira e Rocha, e com tal opção, alcançaram um resultado diferente. Dessa forma, em seu estudo, os autores concluíram que as concessões mais eficientes foram: Rumo Malha Norte S/A (RMN), Malha Regional Sudeste ou MRS Logística S/A (MRS), Estrada de Ferro Paraná Oeste S/A (EFPO) e Ferrovia Norte-Sul S/A (FNS). Para tal, valeram-se de análises, considerando as seguintes variáveis de *input*: área de concessão, número de empregados, gastos com pessoal, gastos com depreciação, outros gastos e total de gastos, valendo-se como *output* da receita líquida.

Marchetti e Wanke (2016) também analisaram a eficiência do transporte ferroviário de cargas no Brasil utilizando DEA e os seguintes *inputs*: quantidade de vagões e número de trabalhadores; e o *output*: tonelada quilômetro útil. Por meio dessas variáveis, as ferrovias nacionais mais eficientes foram EFC, EFVM, RMN e FNS. Portanto, os autores encontraram um resultado similar ao apresentado por Silva, Macambira e Rocha (2019).

Em seu estudo, Fontan, Rosa e Lacruz (2022) realizaram uma análise comparativa da eficiência das ferrovias transportadoras de minério de ferro e pelotas, que fazem parte do patrimônio das empresas de mineração e usinas de pelotização. Por meio do modelo DEA, os autores valeram-se de variáveis dos *inputs*: quantidade de vagões em operação, quantidade de vagões do trem tipo de maior predominância e carga por eixo, tomando como variável de saída a tonelada quilômetro útil.

Yu e Lin (2007), por sua vez, apresentaram em seu estudo a análise de eficiência de 20 ferrovias no cenário europeu, considerando o transporte de cargas e o transporte de passageiros. Aplicando DEA nas variáveis de *input* (número de empregados, extensão de linha, número de vagões de passageiro e número de vagões de carga) e nas variáveis de *output* (passageiro quilômetro útil, tonelada quilômetro útil), os autores concluíram que as ferrovias que transportam passageiros possuem maior nível de eficiência, que as ferrovias transportadoras de cargas.

Ainda considerando a eficiência, Kutlar, Kabasakal e Sarikaya (2012) analisaram a eficiência de 31 ferrovias ao redor do mundo por meio da aplicação de DEA, utilizando como variáveis de entrada: custo operacional anual, número médio de trabalhadores, extensão de linha, número de locomotivas, número de vagões de passageiro e número de vagões de carga; e como variáveis de saída: receita anual, número de passageiros transportados, número de passageiros por quilômetro, tonelada transportada e tonelada transportada por quilômetro.

Hilmola (2007) avaliou a eficiência do transporte ferroviário de cargas de todo o continente europeu, via análise temporal longitudinal (1980 – 2003). Vale notar que seu estudo virou referência na temática de transporte ferroviário de cargas. Aplicando DEA com o número de vagões, extensão de malha e número de locomotivas como dados de entrada, e toneladas transportadas mais toneladas quilômetro útil como variáveis de saída, Hilmola (2007) não encontrou país algum que tivesse o transporte ferroviário de cargas eficiente ao longo de todo o período. O autor concluiu que, com o passar do tempo, o mercado de transporte ferroviário europeu regrediu em demanda, *market share* e eficiência, exigindo medidas estratégicas (fusões e aquisições), medidas governamentais (privatizações) e conexões internacionais, para retomar os índices de eficiência da década de 1980.

Assim como Hilmola (2007), Kapetanovic *et al.* (2017) analisaram a eficiência no transporte ferroviário do continente europeu por meio do DEA, tendo como variáveis de entrada: extensão de malha, número de trabalhadores, número de vagões de passageiros, número de vagões de carga e número de locomotivas; e como variáveis de saída: toneladas transportadas e toneladas quilômetro útil. Ao final do estudo, foi possível identificar que apenas

a empresa EVR (*Eesti Raudtee*), ferrovia operada na Estônia, permaneceu eficiente ao longo de todo o período. O trabalho de Hilmola (2007), somado ao trabalho de Kapetanovic *et al.* (2017), compõe uma análise da eficiência do transporte ferroviário de cargas de 1980 a 2013, conformando um estudo robusto.

Blagojevic *et al.* (2020) analisaram a eficiência de oito ferrovias distribuídas em seis países da Europa Centro-Oriental: Albânia, Bósnia, Montenegro, Croácia, Macedônia, Eslovênia e Sérvia. A partir da análise envoltória dos dados, tendo como variáveis de entrada: número de trabalhadores por quilômetro de linha férrea, custos com infraestrutura, número de trens e número de acidentes graves por quilômetro de transporte; e como variável de saída: toneladas transportadas, apenas duas ferrovias foram consideradas eficientes.

Correa (2012) apresenta um comparativo da eficiência no transporte de cargas pela modalidade ferroviária com a modalidade rodoviária na Colômbia. E encontrou, no seu estudo, indicadores de que o transporte ferroviário é mais eficiente que o transporte rodoviário. Valendo-se do DEA na análise, o autor considerou como variáveis de entrada: custo de combustível por quilômetro, custo de lubrificantes por quilômetro, custo de filtros por quilômetro, custo de graxa por quilômetro, custo de manutenção por quilômetro e custo com salários por quilômetro; e como única variável de saída: a capacidade de transporte.

Kuang (2018) analisa a eficiência do transporte ferroviário de cargas da China, também utilizando DEA, e tendo como dados de entrada as variáveis extensão de malha, número de trabalhadores, número de locomotivas e média de carregamento dia; e como dado de saída, a variável tonelada transportada. Com o seu estudo, foi possível concluir, que 44% das ferrovias chinesas são eficientes.

Por seu lado, Li e Hilmola (2019) analisaram, em seu estudo, a eficiência das ferrovias atuantes no programa chinês *Belt and Road Initiative* (BRI), em pesquisa que envolveu ferrovias de 29 países. Por meio da utilização do DEA, tendo como dados de variável de entrada: número de locomotivas, número de vagões, número de trabalhadores e extensão de malha; e como variáveis de saída: toneladas transportadas e tonelada quilômetro útil. Ao final, detectaram que 11 países possuem ferrovias posicionadas na fronteira da eficiência.

O levantamento bibliográfico dos estudos de eficiência aplicados ao transporte ferroviário de cargas, utilizando a análise DEA como método, confirmou a presença de pesquisas, no portfólio mundial, voltadas ao objetivo de comparar e/ou definir ferrovias eficientes. Entretanto, detectou-se a ausência de estudos sobre a eficiência de ferrovias que validem as estratégias e/ou as hipóteses de seu aumento no transporte ferroviário.

O Quadro 1 apresenta um resumo dos estudos analisados, sendo possível observar a presença do comportamento supracitado, nos estudos da eficiência no transporte ferroviário de cargas. A importância dessa etapa da presente pesquisa, é compreender como os estudos da eficiência no transporte ferroviário de cargas são realizados, e os seus principais achados.

2.4 Melhoria Contínua

Bessant *et al* (1994) define melhoria contínua como um processo transversal à organização com o foco em gerar inovações de forma incremental. Processo caracterizado por evoluções pequenas, alta frequência e ciclos curtos, que sozinhos geram pouco impacto, porém quando somados ao longo do tempo, podem contribuir significativamente para a performance da organização. Sanchez e Blanco (2014) atestam que a melhoria contínua é um processo contínuo de aperfeiçoamento da organização, que deve envolver todos os empregados. O interesse em melhoria contínua tem crescido, e embora vinculado à gestão da qualidade, constitui um movimento dedicado à sua aplicação em outras áreas, com o foco na redução de custos e no estabelecimento de relações transversais entre as áreas.

Bhuiyan e Baghel (2005) defendem a necessidade de a melhoria contínua crescer em escala junto com as organizações. Para tal, um rol de metodologias de melhoria contínua foi desenvolvido, baseado no conceito básico de qualidade, na redução de desperdícios, na simplificação da linha de produção e na melhora da qualidade. Dentre as metodologias, as mais conhecidas são: produção enxuta, seis sigma, *balanced scorecard* e *lean seis sigma*. A produção enxuta tem como objetivo eliminar os desperdícios (tudo aquilo que o cliente não está disposto a pagar) em todas as áreas de produção e, quando aplicada corretamente, resulta na habilidade das empresas em aprender a saná-lo. O *Seis Sigma* pode ser definido como um método sistemático voltado ao melhoramento dos processos estratégicos e ao desenvolvimento de novos produtos e serviços, que dependem de métodos estatísticos para reduzir o índice de defeitos. Minimizar defeitos e reduzir a variação dos processos é o objetivo dessa metodologia.

QUADRO 1 – Estudos de eficiência no transporte ferroviário

Estudo	Método	Variáveis	Propósito
ROSA, VIEIRA (2019)	DEA CRS OUTPUT	(I) Extensão de malha; N° de trabalhadores; N° de Locomotivas (O) Tonelagem movimentada; Receita; Cobertura de malha	Estudo de eficiência sobre o transporte ferroviário em diversos países.
SILVA, MACAMBIRA, ROCHA (2019)	DEA CRS OUTPUT DEA VRS OUTPUT	(I) N° de trens formados; Consumo de combustível; utilização de locomotivas; utilização de vagões; N° de empregados. (O) tonelada quilômetro útil	Estudo de eficiência do transporte ferroviário de cargas entre as 12 concessionárias atuantes no Brasil
FONTAN, ROSA, LACRUZ (2022)	DEA CRS OUTPUT	(I) Quantidade de vagões; Quantidade e vagões do trem tipo predominante; carga por eixo; (O) tonelada quilômetro útil	Estudo de eficiência do transporte ferroviário de minério de ferro e pelotas entre ferrovias do mundo que são patrimônio de empresas de mineração e pelotização
Pereira <i>et al</i> (2015),	DEA CRS OUTPUT DEA CRS INPUT	(I) Área de concessão; N° de empregados; Gastos com pessoal; Gastos com depreciação, Outros gastos; Total de gastos (O) Receita Líquida	Estudo de eficiência do transporte ferroviário de cargas entre as concessionárias atuantes no Brasil
YU, LIN (2007)	MNDEA	(I) N° de trabalhadores; extensão de linha; N° de vagões de passageiros; N° de vagões de carga (O) Passageiro quilômetro útil, tonelada quilômetro útil	Estudo de eficiência no transporte ferroviário, considerando passageiro e cargas entre ferrovias atuantes na Europa
KUTLAR, KABASAKAL, SARIKAYA (2012)	DEA CRS INPUT DEA VRS INPUT	(I) custo operacional anual, N° de trabalhadores médio, extensão de linha, N° de locomotivas, N° de vagões de passageiro e N° de vagões de carga (O) receita anual, número de passageiros transportados, número de passageiros por quilômetro, tonelada transportada e tonelada por quilômetro transportada	Estudo de eficiência no transporte ferroviário, considerando passageiro e cargas entre ferrovias atuantes no mundo

Fonte: Elaborado pelo autor

QUADRO 1 – Estudos de eficiência no transporte ferroviário (continuação)

Estudo	Modelo	Variáveis	Propósito
MARCHETTI, WANKE (2016)	DEA CRS <i>OUTPUT</i> DEA VRS <i>OUTPUT</i>	(I) Número de vagões; número de trabalhadores (O) tonelada quilômetro útil	Estudo de eficiência do transporte ferroviário de cargas entre as concessionárias atuantes no Brasil
BLAGOJEVIC <i>et al</i> (2020)	DEA CRS DEA VRS	(I) N° de trabalhadores por quilômetro de linha férrea; custos com infraestrutura; N° de trens; N° de acidentes graves por quilômetro de transporte; (O) toneladas transportadas	Estudo de eficiência do transporte ferroviário de cargas em 8 ferrovias da região centro oriental da Europa
HILMOLA (2007)	DEA CRS	(I) N° de vagões, extensão de malha e N° de locomotivas (O) toneladas transportadas e toneladas quilômetro útil	Estudo de eficiência do transporte ferroviário de cargas na Europa
CORREA (2012)	DEA CRS DEA VRS	(I) custo de combustível por quilômetro, custo de lubrificantes por quilômetro, custo de filtros por quilômetro, custo de graxa por quilômetro, custo de manutenção por quilômetro e custo com salários por quilômetro (O) capacidade de transporte	Estudo de eficiência do transporte de cargas na Colômbia fazendo um comparativo da modalidade ferroviária com a modalidade rodoviária
KAPETANOVIC <i>et al</i> (2017)	DEA CRS <i>INPUT</i>	(I) extensão de malha, N° de trabalhadores, N° de vagões de carga e N° de locomotivas (O) toneladas transportadas e toneladas quilômetro útil	Estudo de eficiência do transporte ferroviário de cargas na Europa
KUANG (2018)	DEA VRS	(I) extensão de malha, N° de trabalhadores, N° de locomotivas e média de carregamento dia (O) toneladas transportadas	Estudo de eficiência do transporte ferroviário de cargas da China
LI, HILMOLA (2019)	DEA CRS <i>INPUT</i>	(I) N° de locomotivas; N° de vagões, N° de trabalhadores; extensão de malha (O) Toneladas transportadas; tonelada quilômetro útil	Estudo de eficiência do transporte ferroviário de cargas da China e países que fazem parte do programa chinês <i>Belt and Road Initiative</i>

Fonte: Elaborado pelo autor

Já o *Balanced Scorecard* pode ser utilizado para traduzir a estratégia da empresa em objetivos, que quantificados e avaliados, e quando medidos, avaliam se a empresa está alcançando os resultados desejados. Por fim, a combinação do *Lean* com o *Seis Sigma* busca reduzir os desperdícios, para depois atacar a variação do processo. Tal junção, portanto, ajuda a empresa a maximizar o potencial das melhorias. (BHUIYAN; BAGHEL, 2005).

Bessant *et al* (1994) atestam, que apesar da melhoria contínua ser atrativa, o processo costuma falhar com o passar do tempo, por sua dificuldade em enraizar a melhoria contínua no negócio. Adicionalmente, em seu estudo, Sanchez e Blanco (2014) reforçam a importância recente da melhoria contínua. De acordo com as autoras, após um período (1988 – 2007) de pouca quantidade de estudos publicados sobre o tema, verificou-se um significativo aumento editorial, pois alcançando um pico de 96 publicações no ano de 2011. Pode-se concluir, portanto, que se trata de um campo de estudo ainda fértil, por manter o interesse dos pesquisadores. Pelos resultados apresentados, tais estudos vem promovendo uma aproximação do mercado com a Academia, por disponibilizar pesquisas relacionadas à implementação de melhoria contínua, experiências, individualidades e resultados.

3 METODOLOGIA

Definida por Gil (1999), como um processo formal e sistemático de desenvolvimento do método científico, voltado ao objetivo de descobrir respostas para problemas, permitindo, também, a obtenção de novos conhecimentos no campo da realidade social, a pesquisa ora proposta enquadra-se na vertente quantitativa, vista por Michel (2005) como um método de pesquisa social que utiliza a quantificação na coleta e tratamento das informações, através de técnicas estatísticas de dados.

No entendimento de Schiffman & Kanuk (2009), a pesquisa quantitativa é por natureza, descritiva e exploratória. Os resultados são descritivos, empíricos e, se coletados aleatoriamente (isto é, com a utilização de uma amostra probabilística), podem ser generalizados para populações maiores. Como os dados são quantitativos, prestam-se a sofisticadas análises estatísticas.

No entendimento de Malhotra (2001), a pesquisa quantitativa deve ser utilizada tanto para quantificar dados e generalizar resultados da amostra, como para aplicar análises estatísticas de alguma forma. Trata-se, pois, de um tipo de pesquisa indicada para uma grande amostra, devendo ser realizada de forma estruturada.

3.1 Estratégia investigativa

O meio empregado nesta pesquisa para se alcançar os resultados, foi o estudo de caso – “investigação empírica realizada no local onde ocorre ou ocorreu determinado fenômeno, ou que dispõe de elementos para explicá-lo” (VERGARA, 2009, p. 43). Tem-se, pois, segundo Martins (2008, p. xi): uma investigação empírica que pesquisa fenômenos dentro de seu contexto real (pesquisa naturalística), onde o pesquisador não tem controle sobre os eventos ou variáveis, buscando apreender a totalidade de uma situação e, criativamente, descrever, compreender e interpretar a complexidade de um caso concreto.

Segundo Yin (2010), o estudo de caso constitui um dos métodos de realização de pesquisa no âmbito das ciências sociais. Dentre outros, encontram-se os experimentos, levantamentos, estudos observacionais, histórias, pesquisa econômica e epidemiológica etc. Sabe-se que cada método tem suas vantagens e desvantagens dependendo de três questões: o tipo de pergunta formulada pela pesquisa, o controle do pesquisador sobre os eventos identificados no campo e o enfoque dos fenômenos contemporâneos. Em geral, o estudo de

caso é o método preferido nos casos em que: (i) as questões “como” ou “por que” são propostas; (ii) o pesquisador tem pouco controle sobre os eventos; e (iii) o enfoque é um fenômeno contemporâneo no contexto da vida real. Outro aspecto importante deste método de pesquisa é a singularidade da demanda e o contexto onde se encontra inserida.

O presente estudo de caso atende aos três critérios propostos por Yin (2010) para a escolha do método de pesquisa: (i) responder as questões “como” e “por que”; (ii) considerar a dificuldade de controle do pesquisador sobre o evento em tela; e (iii) focar um fenômeno contemporâneo no contexto da vida real, que neste caso, refere-se ao enfrentamento da necessidade vivenciada no país, de uma urgente melhoria do transporte de cargas.

3.1.1 O caso em estudo

Para verificar como projetos operacionais afetam a eficiência do transporte ferroviário de cargas, foi selecionado uma empresa que possui concessão para operar as ferrovias FCA (Ferrovia Centro Atlântica) e a FNS (Ferrovia Norte Sul), atuando nos estados de Sergipe, Bahia, Espírito Santo, Goiás, Distrito Federal, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo, Maranhão e Tocantins, possui como base de ativos 5 corredores de transporte (Centro-Leste, Centro Sudeste, Centro Norte, Minas-Rio e Minas-Bahia).

A empresa possui 8.000 km de extensão de malha ferroviária, 9 terminais intermodais, operações portuárias em 7 terminais, contando com mais de 800 locomotivas e 24 mil vagões em sua base de ativo, tendo investido em 2021 mais de 600 milhões em infraestrutura, material rodante e via permanente (VLI LOGÍSTICA, 2023).

Responsável por 9% de toda produção ferroviária nacional no ano de 2022 e por 28% do volume de carga geral transportado por ferrovias também no ano de 2022, o que representa 43 milhões de toneladas úteis e 33 bilhões de toneladas quilômetro útil (ANTT, 2023). A empresa onde o estudo de caso se dará é a 4ª maior do setor de transporte ferroviário de cargas no Brasil. Apresentou um crescimento 6% em volume transportado entre os anos de 2019 e 2022, possuindo, portanto, representatividade dentro do setor.

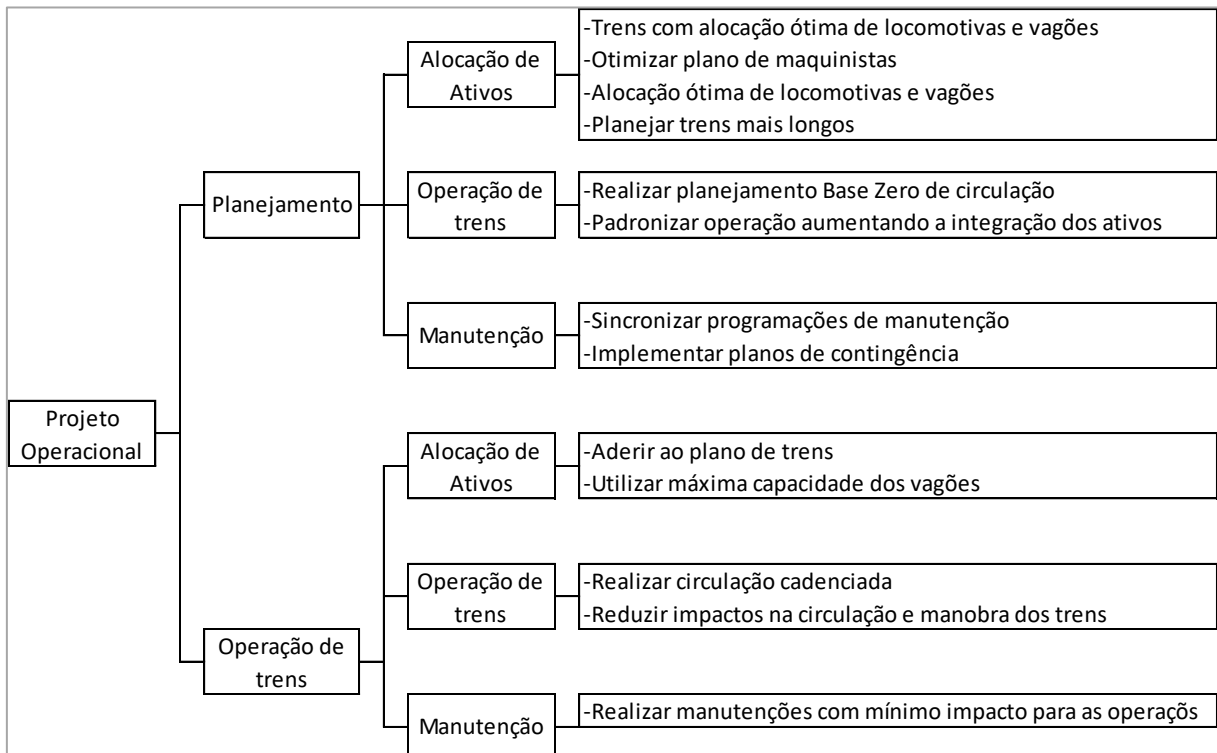
Além dos números relacionados ao crescimento da empresa e sua representatividade no mercado nacional. As ferrovias FCA e FNS apresentam complexidade operacional visto a variedade dos produtos transportados, dos tipos de vagões e locomotivas utilizados na formação dos trens e do modelo operacional. Essa complexidade se justifica pelo tipo de produto

transportado, 58% das cargas transportadas são do tipo carga geral e 42% granéis agrícolas (ASSIS *et al*, 2017)

3.2 Definição dos projetos operacionais de melhoria contínua

De acordo com ANTT (2020) a produção de uma empresa ferroviária é afetada por cinco parâmetros, sendo eles: (i) quantidade de vagões disponíveis; (ii) capacidade de carga de cada vagão; (iii) ciclo do vagão (composto pelo tempo de circulação, tempo de carregamento e tempo de descarregamento); (iv) período dentro do qual se deve fazer o fluxo de transporte e (v) distância média em que a carga foi transportada. Portanto os projetos operacionais de melhoria contínua precisam atuar em pelo menos um desses parâmetros para que sejam relevantes para a eficiência do transporte ferroviário de cargas., foi feito o delineamento do que seria e não seria um projeto operacional. Procedimento definidor de que os projetos operacionais são aqueles que tem como escopo as atividades de alocação de ativos, de operação de trens e de manutenção, tanto numa perspectiva de planejamento quanto numa perspectiva de execução dessas atividades. A Figura 5 representa essa árvore de delineamento dos projetos operacionais de melhoria contínua.

FIGURA 5 – Árvore de decisão para projetos operacionais



Fonte: Elaborado pelo autor

Na Figura 5, importante destacar os tipos de projeto abordados na Árvore de Decisão. Na divisão *Planejamento* encontram-se os projetos relacionados a dimensionamento e a programação. Por exemplo, os projetos que otimizam a alocação ativos (locomotivas e vagões) buscando tamanho ideal dos trens para otimizar *performance* nos portos e terminais. Na caixa *Operação de Trens* estão os projetos de padronização de manobras e de condução de trens, que almejam aumentar a produtividade global dos ativos. Por fim, tem-se os projetos de *Manutenção*, a saber, os relacionados a programação das paradas de manutenção sincronizadas de modo a minimizar impactos operacionais.

No subgrupo *Execução*, encontram-se os projetos relacionados à utilização e cumprimento das premissas pré-estabelecidas pelo planejamento. Portanto, a caixa *Alocação de Ativos* dentro do grupo execução hospeda os projetos que buscam aderência ao plano de trens, buscando maior utilização da capacidade de tração. Da mesma forma, o item *Operação de Trens* abarca os projetos relacionados à melhoria nas operações, como por exemplo, o tempo em trânsito e as manobras em pátios, almejando redução de desperdício de tempo. Por fim, a *Manutenção* refere-se aos projetos relacionados a execução de manutenção de modo a minimizar impactos operacionais e potencializar a confiabilidade.

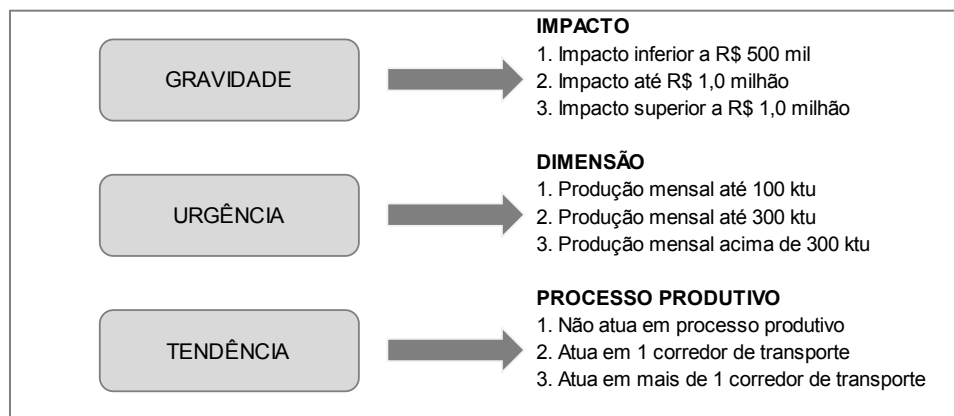
Em razão da quantidade de projetos operacionais encontrados na coleta de dados, em função do elevado número de 155 unidades, foi utilizado o método baseado no conceito da *Matriz de Priorização GUT*, para classificá-los de acordo com o impacto previsto, tamanho do sistema produtivo e relevância interna dos projetos operacionais. Método de classificação de projetos denominado de *GUT Adaptada*. Esta etapa da pesquisa se fez relevante, por relativizar os projetos operacionais, desconsiderando-os homogêneos.

No processo de adaptação da matriz GUT, foram considerados os seguintes aspectos: o pilar *Gravidade* como o impacto previsto do projeto; o pilar *Urgência* como a dimensão do processo de produção pretendido, e no quesito tendência, considerou-se a *Quantidade* de processos de produção, onde o projeto está inserido. De forma resumida, a Figura 6 expõe as modificações realizadas na matriz GUT, para criação da GUT adaptada.

O impacto previsto dos projetos é uma informação presente no sistema de gestão de projetos da empresa (*Wave*), com base na validação dos quatro tipos de governança. Dentre elas, a ação CFO (*Chief of Financial Officer*) sugere confiabilidade no uso dos achados como premissas do projeto de pesquisa. A dimensão do processo operacional afeto à melhoria dos projetos foi calculada com base no volume médio mensal transportado da área de abrangência onde foram executados, em informação checada no sistema de produção da empresa (PPCSystem). A quantidade de processos produtivos influenciados pelo projeto de melhoria

contínua foi calculada de forma transversal, ou seja, abrangendo mais de um corredor de transporte.

FIGURA 6 – GUT adaptada



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3 Modelo de análise

A modelagem DEA utilizada é a VRS (*Variable Return of Scale*). Esse modelo foi o selecionado visto que economias de escala são verificadas na provisão de serviços ferroviários, resultantes dos significativos custos fixos associados à produção desses serviços (CASTRO, 2002). Portanto, a partir do conceito de economia de escala e levando em consideração que o transporte ferroviário de cargas se enquadra dentro desse conceito, a abordagem DEA a ser utilizada foi a VRS.

Um dos passos relevantes no uso da Análise Envoltória de Dados consiste na escolha das variáveis de entrada (*inputs*) e variáveis de saída (*outputs*) (MELLO, 2005). Neste estudo, a seleção das variáveis foi feita através da análise de uma pesquisa bibliométrica detalhada no Capítulo 2.

A partir dos 23 estudos da pesquisa bibliométrica, outro levantamento identificou as variáveis de entrada e de saída utilizadas com maior frequência na aplicação de DEA, no transporte ferroviário de cargas. As Tabelas 2 e 3 informam o rol das variáveis em ordem decrescente de frequência de seu uso para aplicação de DEA nos estudos de levantamento bibliométricos. Cabe salientar que a eficiência de um método de pesquisa tem relação direta com o rigor de definição dos seus dados e sua aplicação, ou não, ao estudo.

TABELA 2 – *Inputs* encontrado na pesquisa bibliométrica

Input	Quantidade
Extensão Malha Ferroviária	16
Número de trabalhadores	16
Número de vagões	15
Número de locomotivas	13
Outros	10
Consumo de combustível	5
Número de trens formados	3
Investimento em infraestrutura	3
Tonelada útil	3
Consumo de insumos	3
Custo com pessoal	2
Custos totais	2
Custo operacional e manutenção	2
Número de cidades e/ou estações	2

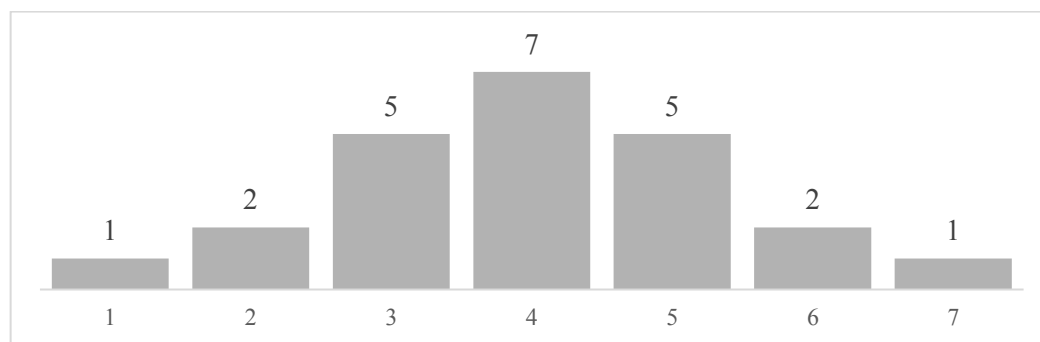
Fonte: Elaborado pelo autor.

TABELA 3 – *Outputs* encontrados na pesquisa bibliométrica

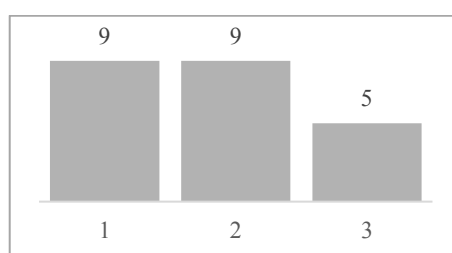
Output	Quantidade
Tonelada quilômetro Útil	16
Tonelada útil transportada	10
Receita anual	6
Outros	4
Taxa de carga de retorno	3
Distância percorrida locomotiva	2
Índice de cobertura da malha e/ou Número de estações	2

Fonte: Elaborado pelo autor.

Um segundo levantamento, originado dos estudos bibliométricos utilizados nesta pesquisa, definiu a quantidade de variáveis usadas como *input* e *output*, resultando em dois histogramas: um para as variáveis de entrada (Figura 7), e outro para as variáveis de saída (Figura 8). Histogramas reveladores da quantidade e frequência de variáveis utilizadas no DEA, com cada um dos 23 estudos, expondo o critério definidor da quantidade de variáveis de entrada e saída presentes no DEA. Sobre os *inputs*, a Figura 7 atesta, que a utilização de quatro variáveis de entrada imprime maior representatividade, enquanto em relação aos *outputs*, a Figura 8 atesta que estudos com uma ou duas variáveis foram os mais representativos. Portanto, foram utilizadas quatro variáveis de entrada e duas variáveis de saída.

FIGURA 7 - Quantidade de variáveis utilizadas como *inputs*

Fonte: Elaborado pelo autor

FIGURA 8 – Quantidade de variáveis utilizadas como *outputs*

Fonte: Elaborado pelo autor

As variáveis de entrada que foram aplicadas no DEA foram: Número de trabalhadores, número de vagões, número de locomotivas e GUT adaptada. A variável extensão da malha ferroviária, principal variável do referencial bibliométrico, não foi escolhida como *input* visto sua baixa relevância nessa pesquisa, pois o campo de trabalho ocorreu numa empresa única, tornando esse indicador fixo. Por fim, as variáveis de saída mais utilizadas foram tonelada quilômetro útil e toneladas transportadas.

As variáveis de saída (*output*) tonelada quilômetro útil (TKU) e tonelada útil (TU) são parâmetros que, apesar de fortemente correlacionados (fator de Pearson igual a 0,98), representam significados diferentes. Enquanto o primeiro refere-se à produção de uma empresa de transporte ferroviário a segunda refere-se à quantidade de produto transportado. Entretanto, estudos com modelagem DEA para o transporte de cargas utilizam apenas um desses parâmetros por vez, conforme os trabalhos de Hilmola (2007 e 2009). Dessa forma, o trabalho seguirá apenas com TKU como parâmetro de saída. A Tabela 4 apresenta os *inputs* e *outputs* utilizados neste estudo e sua breve descrição.

A variável GUT adaptada é uma adaptação da matriz GUT feita para classificar os projetos operacionais quanto ao seu impacto. A variável número de trabalhadores representa a quantidade total de funcionários na empresa. Os parâmetros número de vagões e número de locomotivas referem-se à quantidade de vagões e locomotivas utilizados para realizar o transporte. Dentro desses parâmetros não foram considerados vagões e locomotivas em manutenção e/ou não operacionais. A variável tonelada quilômetro útil (TKU) representa

quantidade de produto transportada multiplicada pela distância em que o produto foi transportado, é utilizado pelas empresas ferroviárias como medição da produção.

TABELA 4 – *Inputs e Outputs*

Variável	Classificação	Descrição da variável	Unidade
GUT Adaptada	<i>Input</i>	Adaptação da matriz GUT para classificar o impacto dos projetos operacionais	-
Número de trabalhadores	<i>Input</i>	Número de funcionários na empresa	-
Número de vagões	<i>Input</i>	Número de vagões líquidos utilizados	-
Número de locomotivas	<i>Input</i>	Número de locomotivas líquidas utilizadas	-
Tonelada quilômetro útil	<i>Output</i>	Tonelada líquida multiplicada pela distância transportada	Milhões Tku

Fonte: Elaborado pelo autor

Não há consenso sobre o limite do número de variáveis em relação às DMU's. Porém, sabe-se que deve haver equilíbrio entre ambos, para que os resultados sejam confiáveis e, de fato, representem a amostra selecionada. Neste sentido, buscou-se manter uma relação de no mínimo quatro vezes mais DMU's que *inputs* e *outputs* em conjunto

O modelo DEA VRS terá uma abordagem *input* por dois motivos. O primeiro é que os projetos operacionais de melhoria contínua atuam de forma a impactar diretamente os parâmetros escolhidos como *input*. O segundo motivo é que, o parâmetro utilizado como *output* possui dependência de demandas mercadológicas. Dessa forma, impossibilita-se que empresas de transporte ferroviário tenham atuações de forma a aumentar a sua eficiência aumentando ou reduzindo esse parâmetro.

3.4 Coleta e seleção de dados

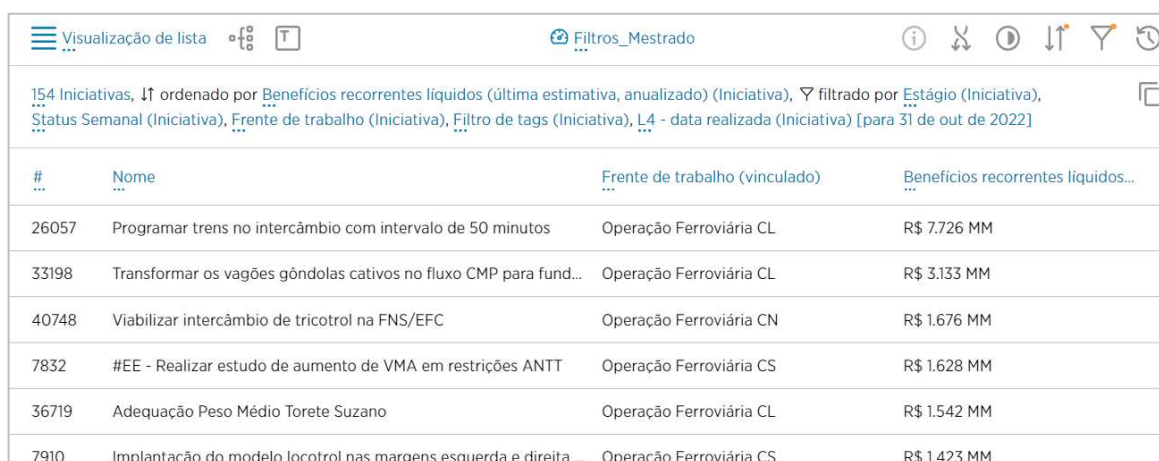
Optou-se, neste estudo, por iniciar tal procedimento pelos dados secundários presentes no sistema interno da empresa pesquisadas, a saber: (i) sistema *Wave* (informações dos projetos operacionais), (ii) *PPCSystem* (informações de produção e ativos); e (iii) sistema E-dados (informações sobre efetivo). A ferramenta para cálculo da eficiência foi o DEA, haja vista a sua relevância aplicação em pesquisas.

Os primeiros dados levantados foram os relativos aos projetos, valendo-se de alguns filtros do sistema *Wave*, para sua seleção, a partir do seguinte critério de classificação: estágio, *status* semanal, frente de trabalho, filtro de *tags* e data de conclusão.

No primeiro filtro – *estágio* –, selecionou-se os projetos concluídos. No segundo filtro – *status* semanal – preferenciou-se os projetos em curso de progresso, desconsiderando-se aqueles cancelados ou interrompidos durante a execução. E no terceiro filtro – frente de trabalho – observou-se, apenas, os projetos relativos às “operações ferroviárias”, espaço de concentração daqueles beneficiadores das operações. No quarto filtro – ou filtro de *tags* –, realizado por “pacotes”, concentrou-se todos os projetos capazes, de forma direta ou indireta, de interferir nos processos produtivos. Por fim, no quinto filtro – o derradeiro –, estabeleceu-se a conclusão do processo, considerando-se, apenas, os projetos concluídos até 31 de outubro de 2022.

Na Figura 9, uma foto do sistema Wave com todos os filtros realizados, mostra a seleção dos projetos operacionais de melhoria contínua, que contemplam o escopo dessa pesquisa.

FIGURA 9 – Sistema Wave – Projetos utilizados na pesquisa



#	Nome	Frente de trabalho (vinculado)	Benefícios recorrentes líquidos...
26057	Programar trens no intercâmbio com intervalo de 50 minutos	Operação Ferroviária CL	R\$ 7.726 MM
33198	Transformar os vagões gôndolas cativos no fluxo CMP para fund...	Operação Ferroviária CL	R\$ 3.133 MM
40748	Viabilizar intercâmbio de tricotrol na FNS/EFC	Operação Ferroviária CN	R\$ 1.676 MM
7832	#EE - Realizar estudo de aumento de VMA em restrições ANTT	Operação Ferroviária CS	R\$ 1.628 MM
36719	Adequação Peso Médio Torete Suzano	Operação Ferroviária CL	R\$ 1.542 MM
7910	Implantação do modelo locotrol nas margens esquerda e direita ...	Operação Ferroviária CS	R\$ 1.423 MM

Fonte: Elaborado pelo autor

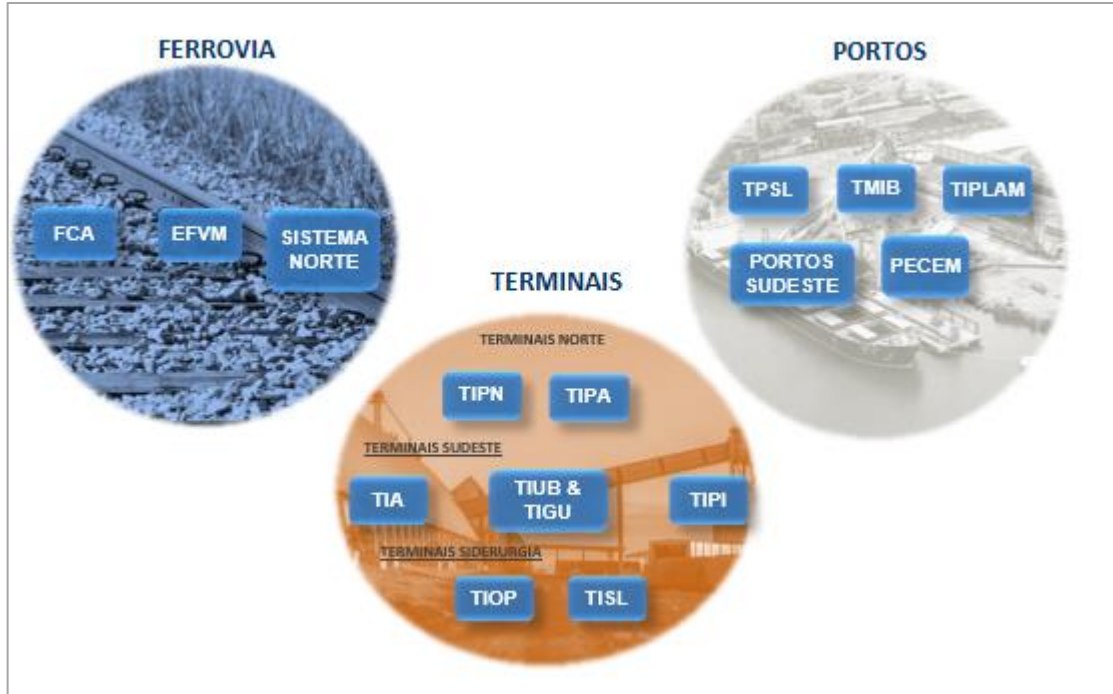
O sistema *PPC System* forneceu à pesquisa o *book* de orçamento dos anos 2020, 2021 e 2022, possibilitando a coleta das informações relacionadas aos ativos utilizados. A Figura 10 expõe o referido sistema.

Na coleta dos dados informativos da quantidade de vagões e locomotivas, optou-se pelas informações da Ferrovia FCA e da Sistema Norte. Sobre a FCA, considerou-se o subitem *Composição e Retenção*, por ofertar dados relativos à quantidade total de vagões e à quantidade retida para manutenção. Valendo-se da matemática básica de subtração, foi possível chegar na quantidade de vagões líquidos utilizados no processo de produção.

Em relação ao ativo *Locomotiva*, após a seleção do item *FCA* e do subitem *Locomotivas FCA*, todas as locomotivas foram inseridas no item *Frota de Locomotivas*, para, na sequência, baixar os dados do item *DF's Locomotivas*, revelador do percentual de locomotivas mensalmente disponíveis para a produção. Por meio da utilização de matemática básica – uma

simples multiplicação, chegou-se à quantidade de locomotivas ativas utilizadas no sistema de produção.

FIGURA 10 - Book de premissas utilizado na coleta de dados dos ativos



Fonte: Elaborado pelo autor

Na coleta dos dados relacionados ao número de funcionários, foi utilizado o sistema E-dados. Filtrou-se, nesse sistema, o quadro de lotação mensal, para que se chegasse na quantidade de funcionários trabalhando em cada mês. A Figura 11 expõe o procedimento da coleta dos dados.

FIGURA 11 – Sistema E-dados de coleta do número de funcionários



Fonte: Elaborado pelo autor

A coleta de dados de *output*, realizada no sistema *PPC System*, pauta o relatório analítico de produção, criado mensalmente. Trata-se de um relatório informativo dos dados de MTKU. A Figura 12 retrata o preciso sistema de coleta de dados.

FIGURA 12 – Sistema PPC System para coleta de dados de MTKU

Corredor / Produto / Cliente ▼	Mercadoria ▼	Origem ▼	Destino ▼	Orçamento		Programa		Acumulado	
				TU	MTKU	TU	MTKU	TU	MTKU
▶ Corredor Centro-Leste				3.224.858	1.789	2.977.119	1.677	2.676.000	1.582
▶ Corredor Centro-Norte				1.423.811	1.330	1.514.223	1.438	1.452.083	1.392
▶ Corredor Centro-Sudeste				1.662.776	1.141	1.607.538	1.096	1.256.111	921
▶ Corredor Minas-Bahia				167.003	135	116.695	87	98.347	69
▶ Corredor Minas-Rio				218.636	106	189.367	92	176.002	85
				6.697.084	4.500	6.404.942	4.390	5.658.543	4.049

Fonte: Elaborado pelo autor

Após tais procedimentos, unificou-se os dados coletados numa planilha do Microsoft Excel, e na posterior simplificação do processo de sua utilização, utilizou-se a ferramenta DEA no software R.

A Tabela 5 traz os dados tanto das variáveis de entrada quanto das variáveis de saída que serão utilizados na ferramenta de otimização DEA VRS com abordagem *input* para medir a eficiência da ferrovia em questão. Para a base de dados, os projetos foram considerados nos meses subsequentes à sua implantação, ou seja, se o projeto foi concluído no mês de fevereiro/2021, ele será considerado no mês de março/2021.

TABELA 5 – Dados utilizados no DEA / VRS

DMU's	GUT adaptada	Vagões	Funcionários	Locomotivas	MTKU
Jun/20	0	19936	8243	459	4059
Jul/20	0	19868	8197	459	4069
Ago/20	0	19952	8159	463	4213
Set/20	0	19989	8155	455	3863
Out/20	0	19943	8122	453	3683
Nov/20	0	19993	8107	454	2900
Dez/20	21	20085	8022	449	2240
Jan/21	11	18895	7997	437	1824
Fev/21	2	18782	7990	448	3200
Mar/21	41	18768	8040	448	4205
Abr/21	39	18867	8030	449	4300
Mai/21	29	18953	8024	450	4315
Jun/21	12	18947	7994	451	4039
Jul/21	11	18843	8034	454	3940
Ago/21	6	18814	8011	454	3873
Set/21	8	18828	7968	444	3249
Out/21	6	18997	7902	440	2858
Nov/21	28	18902	7738	435	2641
Dez/21	3	18963	7628	445	2569
Jan/22	8	18618	7631	434	1541
Fev/22	8	18826	7627	428	2945
Mar/22	11	18965	7657	434	3639
Abr/22	20	19524	7624	440	3966
Mai/22	28	19434	7613	444	4075
Jun/22	13	19450	7582	445	4044
Jul/22	15	19427	7555	452	4139
Ago/22	21	19359	7553	451	4075
Set/22	6	19356	7608	446	4044
Out/22	17	19261	7647	442	4139

Fonte: Elaborado pelo autor

3.5 Análise descritiva dos projetos operacionais

Após a definição da eficiência técnica, foram consideradas algumas variáveis na análise descritiva do resultado, visando a identificação de características de projetos que tornam o transporte ferroviário de cargas mais eficiente. Para tal, os projetos foram elencados em quatro grupos:

- a) *Projetos de planejamento*: atuam indiretamente nas operações. Por exemplo: mudança no modelo de programação de trens e padronização de atividades operacionais.

- b) *Projetos de trem parado*: atuam de modo a reduzir a incidência e/ou o tempo em que os trens ficam parados. Por exemplo: otimização e troca de maquinistas; redução de tempo de manobras; agilidade em atendimento de problemas (avarias e/ou ocorrências) ao longo da circulação.
- c) *Projetos de aumento de carga*: atuam de modo a aumentar a quantidade de carga transportada por trem. Por exemplo: mudança de modelo de trem; aumento de peso médio (tonelada útil por vagão).
- d) *Projetos de circulação*: buscam beneficiar a circulação dos trens. Por exemplo: aumento da velocidade de circulação.

Feito o agrupamento, cada grupo passou por uma análise descritiva. As variáveis utilizadas nessas análises foram as mesmas que orientaram a criação da GUT adaptada, a saber: (i) impacto previsto pelos projetos; (ii) dimensão do processo de produção onde o projeto atua; e (iii) quantidade de corredores de transporte onde o projeto atua. A Tabela 6 define as características das variáveis.

TABELA 6 – Definição das variáveis para análise descritiva dos projetos operacionais

Variável	Descrição da variável	Critério para escala	Valor
Impacto previsto	Valor financeiro previsto a ser entregue pelos projetos	Impacto inferior a 500k	1
		Impacto entre 500k e 1,0 M	2
		Impacto superior a 1,0 M	3
Dimensão do processo de produção	Volume transportado dentro da área de atuação do projeto	Até 100 ktu por mês	1
		Entre 100ktu e 300ktu por mês	2
		Acima de 300ktu/mês	3
Quantidade de processo produtivo	Sinaliza se o projeto atua em mais de um corredor de transporte	Não atua em processo produtivo	1
		Processo produtivo de 1 corredor	2
		Processo produtivo em mais de 1 corredor	3

Fonte: Elaborado pelo autor

A variável, impacto previsto por projeto, é considerada como sendo o valor financeiro previsto a ser alcançado com a conclusão do projeto, sendo seu valor entre 1 e 3 de acordo com o critério de escala de impactos inferiores a R\$ 500mil, impactos entre R\$ 500mil e R\$ 1,0 milhão e impactos superiores a R\$ 1,0 milhão, respectivamente. A variável dimensão do processo de produção é definida como o volume transportado dentro da área de atuação do projeto, tendo seu valor numa de escala de 1 a 3 conforme o critério de escala, volume de até 100ktu/mês, volume entre 100ktu/mês e 300ktu/mês e volume superior a 300ktu/mês. Por fim a variável quantidade de processo produtivo representa se o projeto atua em mais de um

corredor de transporte, variando de 1 a 3 de acordo com o critério de escala de não atua em processo produtivo, atua em processo produtivo de 1 corredor, e, atua em processo produtivo de mais de 1 corredor.

Foi realizada uma análise descritiva para cada grupo de projeto: projetos de planejamento, de trem parado, de aumento de carga e de circulação. Para essa análise utilizou-se como parâmetros a quantidade de projetos existentes por tipo de melhoria proposta, o valor da média aritmética GUT adaptada, para os tipos de projeto e o percentual eficiente. Esse último parâmetro foi criado para ser a relação entre a quantidade de projetos presentes em DMU's eficientes pela quantidade de projetos totais daquele tipo de projeto específico, sendo ele o indicativo de relevância dos tipos de projetos na eficiência do transporte ferroviário.

A partir dessa análise foi possível caracterizar os tipos de projetos operacionais que apresentam maior relevância para a eficiência. De forma análoga, caracterizou-se, também, os tipos de projetos que se mostraram menos relevantes para a eficiência no transporte ferroviário de cargas.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Na estatística descritiva dos dados utilizados como variáveis no modelo DEA/VRS apresentados na Tabela 7, percebe-se que é pequena a amplitude para as variáveis de *input*: N° de Vagões, N° de Funcionários e N° de Locomotivas, pois variando em torno de 8% em relação à média. Por outro lado, a amplitude para a variável de *output* apresenta variação de 78% em relação à média Percentuais indicativos de que a redução da produção não impacta, na mesma proporção, a redução de ativos líquidos utilizados. O que pode representar um fator de impacto para o escore de eficiência técnica resultante do DEA/VRS.

Análise estatística das variáveis de *output* que remete ao conceito de Mello *et al* (2005), de que no estudo com o modelo DEA e seleção de variáveis, o conceito de eficiência foi relativizado, ao se comparar o que foi produzido com os recursos disponíveis, para aferir consonância com o que poderia ter sido produzido com os mesmos recursos.

TABELA 7 – Estatística descritiva das variáveis utilizadas

	Variável	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
<i>Input</i>	GUT Adaptada	12,55	11,69	0	41
	N° Vagões	19259,76	470,06	18617	20085
	N° Funcionários	7877,86	231,33	7553	8243
	N° Locomotivas	447,00	8,37	428	463
<i>Output</i>	MTKU	3539,45	780,84	1540,5	4315,2

Fonte: Elaborado pelo autor

4.1 Eficiência técnica

Os escores de eficiência técnica resultantes da aplicação do modelo DEA/VRS orientado a *input* são apresentados na Tabela 8. Nela é possível observar que a eficiência encontrada varia de 97,8% para a DMU mais ineficiente a 100% para as mais eficientes. Dessa forma, as DMU's consideradas eficientes conseguiram maximizar os resultados otimizando a utilização dos insumos.

Conforme os escores de eficiência apresentados na Tabela 8, pode-se visualizar que em 6 DMU's não se obteve máxima eficiência, sendo os meses de Jun/20, Dez/20, Jan/21, Set/21, Out/21 e Nov/21. As demais 23 DMU's apresentaram-se como eficientes, ou seja, encontram-se sobre a fronteira de eficiência, otimizando os recursos para máxima produção. A Tabela 9 apresenta o percentual de DMU's eficientes separadas por ano.

TABELA 8 – Eficiência das DMU's a partir do DEA/VRS *Input*

DMU's	Escore de eficiência	Avaliação
Jun/20	99,9%	Ineficiente
Jul/20	100,0%	Eficiente
Ago/20	100,0%	Eficiente
Set/20	100,0%	Eficiente
Out/20	100,0%	Eficiente
Nov/20	100,0%	Eficiente
Dez/20	97,8%	Ineficiente
Jan/21	99,0%	Ineficiente
Fev/21	100,0%	Eficiente
Mar/21	100,0%	Eficiente
Abr/21	100,0%	Eficiente
Mai/21	100,0%	Eficiente
Jun/21	100,0%	Eficiente
Jul/21	100,0%	Eficiente
Ago/21	100,0%	Eficiente
Set/21	99,9%	Ineficiente
Out/21	99,5%	Ineficiente
Nov/21	99,5%	Ineficiente
Dez/21	100,0%	Eficiente
Jan/22	100,0%	Eficiente
Fev/22	100,0%	Eficiente
Mar/22	100,0%	Eficiente
Abr/22	100,0%	Eficiente
Mai/22	100,0%	Eficiente
Jun/22	100,0%	Eficiente
Jul/22	100,0%	Eficiente
Ago/22	100,0%	Eficiente
Set/22	100,0%	Eficiente
Out/22	100,0%	Eficiente

Fonte: Elaborado pelo autor

Cooper *et al.* (2004) definem que uma DMU é 100% eficiente se, e somente se, a *performance* dos valores de entrada (*inputs*) e saída (*outputs*) de outra DMU não possa ser melhorada sem piorar os demais valores de entrada (*inputs*) e saída (*outputs*), se dando assim o conceito de Eficiência Relativa.

TABELA 9 – Percentual de DMU's eficientes ao longo dos anos abordagem *input*

Ano	Eficiência média
2020	99,60%
2021	99,80%
2022	100,00%

Fonte: Elaborado pelo autor

É possível perceber, na Tabela 9, que comparando o ano de 2022 com os anos de 2020 e 2021, houve uma evolução da eficiência, haja vista que a média aritmética para a eficiência

em 2020 foi de 99,7%, e em 2021 de 99,8%, enquanto em 2022 a média aritmética para o escore de eficiência foi de 100%. Ou seja, o ano de 2022 comportou-se como o mais eficiente do período analisado.

Sobre a evolução percebida da eficiência em 2022, esta foi atestada pelo modelo não-paramétrico, que segundo Schwengber (2006) dispensa a utilização de fórmulas de mensuração da relação entre *inputs-outputs*, simplificando sua aplicação, e tornando o método de mensuração de eficiência amplamente utilizado. Método cuja principal vantagem é a presença de poucas hipóteses restritivas, o que permite a aplicação de análises com vários *inputs e outputs*, por sua vez orientados tanto para a otimização dos insumos (*input*) quanto para a maximização dos produtos (*output*).

Em aval ao modelo não-paramétrico, a Tabela 10 apresenta a frequência de referência das unidades eficientes para as unidades ineficientes consideradas *benchmarking*, tanto na abordagem *input* quanto na abordagem *output*, e a regularidade de tal ocorrência.

A Tabela 10 mostra que a DMU fev/22 foi a que serviu de *benchmark* para um maior número de empresas, sendo que 5 das 6 DMU's consideradas ineficientes (83%) devem ter seus resultados tomados como parâmetro, para se chegar à fronteira da eficiência. De forma análoga, as DMU's ago/21 e set/22 serviram de *benchmark* para três unidades ineficientes, e as DMU's fev/21, jul/20 e mar/21 para duas unidades ineficientes.

TABELA 10 – Frequência da referência das unidades eficientes para as unidades ineficientes

DMU's eficientes	Frequência
fev/22	5
ago/21	3
set/22	3
fev/21	2
jul/20	2
mar/21	2

Fonte: Elaborado pelo autor

Importante ressaltar algumas características da DMU tida como maior referência para as demais: fev/22 é um período de baixa produção, com MTKU abaixo de 3200. Como as DMU's ineficientes possuem o mesmo comportamento de baixa produção, fev/22 acaba sendo a DMU *benchmark* com maior frequência, por ser passível de comparação com as ineficientes.

As metas para todas as DMU's ineficientes a partir de seus *benchmarks* e o percentual de redução dos parâmetros (GUT adaptada, Número de vagões, Número de funcionários e Número de locomotivas) foram obtidas a partir do somatório dos resultados dos produtos entre os *lambdas* e os dados de entrada de todos os benchmarks encontrados para a DMU ineficiente (vide tabela no anexo 10). Para a DMU Dez/20, a mais ineficiente (97,8%), a meta era utilizar

4% menos vagões (769), 2% menos locomotivas (10) e 2% menos funcionários (178) para se posicionar na fronteira de eficiência. As metas para todas as DMU's ineficientes estão apresentadas no anexo 10.

TABELA 11 – Resultado das folgas para as DMU's analisadas DEA/VRS

DMU	Avaliação	GUT Adaptada	Nº Vagões	Nº Funcionários	Nº Locomotivas	MTKU
jun/20	Ineficiente	0,00	54,62	44,61	0,00	0,00
jul/20	Eficiente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ago/20	Eficiente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
set/20	Eficiente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
out/20	Eficiente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
nov/20	Eficiente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
dez/20	Ineficiente	16,07	323,58	0,00	0,00	1027,37
jan/21	Ineficiente	1,29	0,00	265,25	0,00	356,59
fev/21	Eficiente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
mar/21	Eficiente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
abr/21	Eficiente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
mai/21	Eficiente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
jun/21	Eficiente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
jul/21	Eficiente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ago/21	Eficiente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
set/21	Ineficiente	0,00	0,00	100,92	0,00	247,26
out/21	Ineficiente	0,34	0,00	108,87	0,00	340,24
nov/21	Ineficiente	20,99	0,00	0,00	0,00	256,57
dez/21	Eficiente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
jan/22	Eficiente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
fev/22	Eficiente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
mar/22	Eficiente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
abr/22	Eficiente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
mai/22	Eficiente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
jun/22	Eficiente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
jul/22	Eficiente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ago/22	Eficiente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
set/22	Eficiente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
out/22	Eficiente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Elaborado pelo autor

O modelo DEA/VRS também proporcionou o reconhecimento de folgas, ou seja, a verificação da quantidade que falta de *outputs* e/ou a redução necessária dos *inputs*, para que a unidade se torne eficiente. A Tabela 11 revela as folgas encontradas para as 29 DMU's analisadas, todas as 23 DMU's posicionadas na fronteira de eficiência foram consideradas fortemente eficientes. Portanto, as variáveis utilizadas são relevantes para explicar a eficiência das DMU's.

Analisando as 6 DMU's ineficientes (jun/20, dez/20, jan/21, set/21, out/21 e nov/21), percebe-se folgas no número de funcionários e no MTKU em cinco das seis DMU's ineficientes. Outro ponto relevante é a GUT adaptada para nov/21 e dez/20, percebe-se que houve projetos de alto impacto nessas DMU's e que não foram necessários para o período.

4.2 Análise descritiva e características dos projetos operacionais de melhoria contínua

Em estudo de eficiência operacional no setor ferroviário de transporte de carga, Vieira (2003) o considerou apropriado para viagens de média e longa distância, e para transportar mercadorias a granel, como petróleo e seus derivados, produtos agrícolas (milho, soja, farelos), industrializados (açúcar, fertilizantes, celulose, toretes), minérios e produtos siderúrgicos. Produtos de grande concentração de volume e baixo valor agregado.

Nesta pesquisa de avaliação dos projetos operacionais relativos ao transporte ferroviário de cargas, a sua distribuição foi baseada nos grupos nele elencados, conforme Tabela 12.

TABELA 12 – Distribuição dos projetos operacionais (média aritmética)

Grupo de projeto	Quantidade de projetos	GUT adaptada	Impacto	Dimensão	Processo produtivo
Aumento de carga	26	3,69	1,54	1,38	1,38
Trem parado	75	2,16	1,19	1,55	1,55
Planejamento	25	2,16	1,12	1,28	1,28
Circulação	32	1,63	1,13	1,34	1,34

Fonte: Elaborado pelo autor

Observa-se que os projetos do grupo de aumento de carga apresentam a maior classificação GUT adaptada, tendo como principal fator a variável *impacto*, sendo, pois, o grupo de projetos que apresenta a escala mais alta de impactos. As demais variáveis, dimensão e processo produtivo, possuem maior escala no grupo de projetos para trem parado. Por fim, os valores de escala são baixos (1,36), sendo possível inferir, que os projetos operacionais em sua maioria são de baixo impacto, atuando em poucos processos produtivos e com aplicabilidade regional, sem atuação em mais do que um corredor de transporte.

O grupo de projetos *trem parado* é o que apresenta a maior quantidade de projetos operacionais, seguido pelos projetos do grupo *circulação*. Isso ocorre por motivo óbvio: os projetos foram conduzidos pelas áreas operacionais. Dessa forma, os problemas tratados e a área de atuação dos projetos são específicos das regiões de tais operações. Trata-se de dois específicos grupos de projeto, de fácil e rápida apreensão das oportunidades de melhoria, seja por meio de uma padronização de manobra, seja por retirada de um procedimento que não

agrega valor, e até mesmo pela retirada de defeitos na via férrea, causadores de restrição de velocidade. Esses são alguns exemplos de projeto inserido nesses dois grupos.

A partir da distribuição dos projetos operacionais em grupos, realizada a análise de relevância de cada grupo, tendo como destaque projetos do grupo *aumento de carga e trem parado*, importante verificar o tipo de comportamento desses grupos de projeto nas DMU's eficientes. A Tabela 13 apresenta os dados deste resultado.

TABELA 13 – Percentual de incidência dos grupos de projetos nas DMU's eficientes

Grupo de projeto	Eficiência
Aumento de carga	88,5%
Trem parado	87,5%
Planejamento	86,7%
Circulação	68,0%

Fonte: Elaborado pelo autor

Como mostra a Tabela 13, predominam nas DMU's eficientes os projetos dos grupos *aumento de carga, trem parado e circulação*. Ao estabelecer a relação dos dados da Tabela 13 com os dados da Tabela 12, percebe-se que o grupo de projeto *aumento de carga* possui a menor quantidade de projetos operacionais (26), apresenta a maior GUT adaptada (3,69) e a maior frequência nas DMU's eficientes, sendo este, portanto, o grupo de projeto mais relevante para a eficiência do transporte ferroviário de cargas.

A partir deste ponto, as análises estatísticas se concentraram na caracterização dos 26 projetos que integram o grupo *aumento de carga*. Projetos subdivididos em categorias, de acordo com a sua atuação, sendo três as categorias possíveis: *Alteração de trem tipo; Aumento de peso médio e Aderência ao trem tipo vigente*. A Tabela 14 reflete o comportamento desses projetos operacionais.

Os projetos relacionados à alteração de trem tipo atuam de forma a modificar o modelo de trem, para que a mesma quantidade de locomotivas possa transportar uma quantidade maior de vagões. Adicionalmente, projetos relacionados a aumento do peso médio, são aqueles atuantes para aumentar a utilização da capacidade do vagão, fazendo com que um mesmo modelo de vagão possa transportar uma quantidade a mais de vagões. Pode-se encontrar alguns exemplos desses projetos no Anexo 7 desta dissertação.

Pela Tabela 14, portanto, é possível perceber que projetos direcionados à *alteração de trem tipo e aumento de peso médio* são importantes para a eficiência do transporte ferroviário de cargas. Os dois tipos de projetos são relevantes devido ao seu elevado impacto, conforme os dados da coluna GUT adaptada e o percentual de projetos dentro das DMU's eficientes. Percentual próximo entre os projetos de alteração de trem tipo e aderência ao trem tipo. No

entanto, como o primeiro tipo de projeto possui o dobro de frequência e uma GUT adaptada maior, a alteração de *trem tipo* é mais relevante que a aderência ao *trem tipo*.

TABELA 14 – Caracterização dos projetos do grupo *Aumento de Carga*

Melhoria Proposta	Quantidade de Projetos	GUT Adaptada	Percentual Eficiente
Alteração de trem tipo	13	5,38	85%
Aumento de peso médio	6	3,00	100%
Aderência ao trem tipo	7	1,14	86%

Fonte: Elaborado pelo autor

Analisando o segundo grupo de projetos *trem parado*, foi possível caracterizar os integrantes desse grupo, e identificar sua relevância para a eficiência no transporte ferroviário de cargas. A Tabela 15 reflete o comportamento desses projetos operacionais subdivididos em performance de carregamento/descarga, tempo de troca de maquinista, performance de manobra, redução de tempo parado, melhoria no atendimento de trecho, melhora em inspeções, redução de ocorrências e agilidade na documentação.

TABELA 15 – Caracterização dos projetos do grupo *Trem Parado*

Melhoria Proposta	Quantidade de Projetos	GUT Adaptada	Percentual Eficiente
Performance de carregamento/descarga	6	3,67	100%
Tempo de troca de maquinista	7	1,29	100%
Performance de manobra	15	2,27	93%
Redução de tempo parado	19	3,11	89%
Melhora em atendimento de trecho	8	1,38	88%
Melhora em inspeções	15	1,47	80%
Redução de ocorrências	2	1,00	50%
Agilidade em documentação	3	1,00	33%

Fonte: Elaborado pelo autor

Na Tabela 15, é possível destacar projetos que são relevantes para a eficiência do transporte ferroviário de cargas, a saber: performance de carregamento/descarga (100%), tempo de troca de maquinista (100%), performance de manobra (93%) e redução de tempo parado (89%). Esses projetos reunidos caracterizam uma GUT adaptada de 2,6, sendo possível destacar que os projetos relativos à performance de carregamento e redução de tempo parado promovem os maiores impactos.

Os projetos de performance de carregamento/descarga e tempo de troca de maquinista, apresentaram o melhor índice de percentual eficiente, ou seja, nenhum dos projetos desse tipo estiveram presentes em DMU's ineficientes. Entre os projetos, encontram-se aqueles que reduzem tempos de carregamento e descarga e tempo de troca de maquinista. Como esses projetos apresentam a baixa frequência de 6 e 7 unidades, respectivamente, são considerados

importantes para a eficiência do transporte, da mesma forma que os projetos de aumento de peso médio.

A Tabela 15 traz um segundo *Grupo de Projetos*, com percentual de eficiência próximo à performance de *carregamento/descarga* e *tempo de troca de maquinista*, porém com maior frequência de propostas. Os projetos sobre *performance de manobra* e *redução de tempo parado* somam, respectivamente, 15 e 19 unidades, estando presentes, em sua maior parte, em DMU's eficientes – 93% e 89% –, respectivamente. Embora tais projetos sejam dotados de percentual de eficiência similar aos dois primeiros, e apresentem maior frequência, sugere-se, também, a sua relevância na eficiência do transporte ferroviário de cargas. Dentre tais projetos encontram-se os relativos à *redução do tempo de manobra* e *redução de tempo de trem parado*.

Ainda na Tabela 15, tem-se um tipo de projeto, que apesar da baixa frequência 8, encontra-se presente em grande parte de DMU's eficientes – 88%. A saber, aqueles relacionados à melhoria dos tempos de atendimento. São projetos importantes, porém devido à baixa frequência e ao fato de não se encontrarem em 100% das DMU's eficientes, foram considerados de modelo não tão relevante para a melhora da eficiência do transporte ferroviário de cargas. Por fim, tem-se três tipos de projetos possuidores de uma GUT adaptada abaixo de 2, e não muito frequentes nas DMU's eficientes, sendo, portanto, considerados projetos irrelevantes para a eficiência no transporte de cargas, a saber: os que interferem nos processos de inspeções (80%), os que buscam reduzir ocorrências (50%), e os que agilizam os processos de documentação (33%).

O terceiro grupo de projetos relacionados à *Circulação* encontra-se caracterizado na Tabela 16. Fazem parte desse grupo, os projetos voltados à redução de restrições de velocidade, aumento de velocidade e aumento da velocidade média. Ainda na Tabela 16, os projetos que buscam aumentar a velocidade dos trens, e os projetos que buscam aumentar a velocidade média, são relevantes para a eficiência. Por outro lado, os projetos que propõem a retirada da restrição de velocidade são menos importantes para a eficiência do transporte ferroviário de cargas.

Para facilitar a diferenciação entre os tipos de projeto presentes na Tabela 16, define-se como projetos de aumento de velocidade aqueles que propõem a melhora na velocidade máxima específica para determinado trecho. Projetos de velocidade média são aqueles que propõem a redução da quantidade de aceleração e desaceleração dos trens. E por fim, projetos de restrição de velocidades são aqueles que buscam tratar os defeitos na linha férrea, que impossibilitam que o trem circule na velocidade máxima admitida. Portanto, apesar da sinergia em relação à

melhora da velocidade média, tem-se uma diferenciação do modo em que tal melhora ocorre. Especificidade do escopo do projeto, que permite diferenciar o relativo ao grupo circulação.

TABELA 16 – Caracterização dos projetos do Grupo Circulação

Melhoria Proposta	Quantidade de projetos	GUT Adaptada	Percentual eficiente
Aumento de velocidade	3	2,67	100%
Velocidade média	23	1,61	91%
Restrição de velocidade	6	1,17	67%

Fonte: Elaborado pelo autor

Como constatável, o grupo circulação propõe projetos de aumento de velocidade com baixa frequência (3) e 100% de DMU's eficientes. Com percentual eficiente similar (91%), porém com alta frequência (23), os projetos que propõe o aumento da velocidade média dos trens são relevantes para a eficiência. Por outro lado, os projetos que tratam de retirar as restrições de velocidade, possuem baixa frequência em DMU's eficientes (67%), sendo, portanto, projetos menos importantes para a eficiência no transporte ferroviário de cargas.

Por fim, o grupo dos projetos *planejamento*, composto das propostas: programação de trens/ativos, padronização de premissas, gestão de informação e padronização de trens, apresentou o pior percentual de eficiência. Portanto, trata-se de um grupo de projetos pouco presente nas DMU's eficientes, sendo, portanto, considerados projetos de cunho pouco relevante para a eficiência do transporte ferroviário de cargas.

Na Tabela 17, os números dos projetos do grupo planejamento expõem o seu baixo percentual de eficiência, assim como sua baixa frequência, sugerindo melhorias no quesito eficiência. O tipo *Programação de Trens/Ativos* apresenta a GUT adaptada de 3,7, em ocorrência derivada da sua condição de projeto específico. Por ser um valor isolado, classifica-se tal mensuração como um *outlier*.

TABELA 17 – Caracterização dos projetos do Grupo Planejamento

Melhoria Proposta	Quantidade de projetos	GUT Adaptada	Percentual eficiente
Programação de trens/ativos	10	3,7	80%
Padronização de premissas	4	1	75%
Gestão de informação	6	1	67%
Padrão de trem	5	1,4	40%

Fonte: Resultado de pesquisa.

Por meio da análise das DMU's eficientes, foi possível descrever os tipos de projetos de melhoria contínua que foram mais relevantes para a eficiência no transporte ferroviário de cargas. Os projetos do tipo *trem parado* foram os mais frequentes, estando presente em 94% das DMU's eficientes. De forma análoga tem-se os projetos do tipo *circulação* (82%) e *aumento*

de carga (71%) como o segundo e terceiro mais frequente. Adicionalmente, a média da GUT adaptada desses tipos de projetos para as DMU's eficientes é 7,9 para os projetos de *trem parado*, 3,6 para os projetos de *aumento de carga* e 2,9 para os projetos do tipo *circulação*. Nota-se que os projetos presentes nas DMU's eficientes possuem uma GUT adaptada maior do que a GUT adaptada dos tipos de projetos isoladamente, portanto, os projetos de melhoria contínua presentes nas DMU's eficientes são os de maior impacto. A Tabela 18 traz a análise apresentada.

Em todos os grupos de projetos caracterizados, foi possível identificar os tipos mais relevantes para a eficiência do transporte ferroviário, a saber: (i) alteração de trem tipo; (ii) aumento de peso médio; (iii) performance de manobra; (iv) redução de tempo parado; (v) performance de carregamento/descarga; (vi) tempo de troca de maquinista; (vii) velocidade média e (viii) aumento de velocidade.

Por outro lado, este estudo identificou, também, os projetos que apresentaram baixa relevância para a eficiência no transporte ferroviário de cargas, a saber: (i) aderência ao trem tipo; (ii) melhora em atendimento de trecho; (iii) melhora em inspeções; (iv) redução de ocorrências; (v) agilidade em documentação; (vi) restrição de velocidade; (vii) programação de trens/ativos; (viii) padronização de premissas; (ix) gestão de informação; e (x) padrão de trem.

TABELA 18 – Descrição dos projetos presentes nas DMU's eficientes

DMU's eficientes	Aumento de carga	Circulação	Planejamento	Trem parado
mar/21	21	2	1	17
abr/21	0	1	30	8
mai/21	7	6	0	16
jun/21	0	1	2	9
jul/21	0	8	0	3
ago/21	2	1	0	3
dez/21	2	0	1	0
jan/22	1	3	1	3
fev/22	2	2	2	2
mar/22	1	4	3	3
abr/22	7	1	0	12
mai/22	0	4	0	24
jun/22	7	6	0	2
jul/22	7	6	0	2
ago/22	1	0	3	17
set/22	0	0	1	5
out/22	4	5	0	8
Média GUT adaptada	3,6	2,94	2,59	7,88
Percentual de DMU's eficientes	71%	82%	53%	94%

Fonte: Resultado de pesquisa.

O resultado da tabela 18 reforça a importância dos projetos de aumento de carga, trem parado e circulação como os mais benéficos para a eficiência do transporte ferroviário de cargas.

4.3 Implicações gerenciais

A partir da análise dos resultados foi possível reforçar a importância da estratégia de utilizar projetos de melhoria contínua para aumentar a eficiência produtiva. Gestores de empresas do transporte ferroviário precisam estimular os colaboradores a resolver entraves operacionais recorrentes por meio de soluções metodologicamente estruturadas. A melhoria da eficiência com essas soluções não será imediata, porém com a rotina e disciplina, a eficiência dos processos operacionais será beneficiada. Conforme visto nesta pesquisa, após dois anos de rotina e disciplina na execução de projetos, a eficiência alcançou o seu escore máximo de maneira recorrente.

Adicionalmente à importância da rotina e resiliência com a estratégia da melhoria contínua, essa pesquisa possibilitou o delineamento de tipos de projetos que são mais relevantes para o aumento da eficiência operacional do transporte ferroviário. Provou ser significativa a importância para os gestores, pois favorecem a compreensão dos projetos de melhoria com maior potencial de incrementar a eficiência operacional e, desta forma, fortalece as estratégias de alocação de pessoal nos projetos e atividades.

A partir da caracterização dos projetos operacionais de melhoria contínua mais benéficos para a eficiência do transporte ferroviário, as áreas de engenharia e planejamento e controle da produção podem revisitar as estratégias utilizadas para melhorar a eficiência operacional. O fomento a realização de projetos de escopo caracterizados neste estudo deve ser um dos caminhos a se adotar pelas empresas de transporte ferroviário de cargas para se alcançar melhores índices de eficiência.

Foi possível chegar nessas soluções devido à robustez dos parâmetros utilizados no DEA/VRS. Por meio da revisão bibliométrica realizada ao longo dessa pesquisa, tem-se que os principais indicadores para medição da eficiência operacional são (i) extensão de malha ferroviária; (ii) número de funcionários; (iii) número de vagões utilizados, (iv) número de locomotivas utilizadas e (v) produção realizada.

Portanto, essa pesquisa contribuiu para o setor ferroviário com as indicações de projetos operacionais mais propensos para aumentar a eficiência do transporte ferroviário de cargas.

Além disso, estimula as organizações a utilizarem a melhoria contínua como estratégia de aumentar a eficiência de suas operacionais. Por fim, gera subsídios consistentes para que se desenvolva novas pesquisas relacionadas ao tema eficiência para a modalidade ferroviária.

5 CONCLUSÃO

Esta pesquisa teve como objetivo responder à seguinte pergunta de pesquisa: “*Como projetos operacionais de melhoria contínua podem impactar a eficiência no transporte ferroviário de cargas?*”.

Dessa forma, salta à vista a conclusão de que os projetos operacionais sustentam a eficiência do transporte ferroviário de cargas, principalmente, quando têm por objetivo o aumento da quantidade de vagões por trem (alteração do trem tipo), o aumento do peso médio de carga, uma melhor *performance* de manobra, a redução do tempo de transporte, a quantidade de trem parado, o aumento da *performance* de carregamento/descarga, a redução do tempo de troca de maquinista, a melhoria da velocidade média e o aumento de velocidade admissível. Chegou-se, pois, a esse termo, através da análise dos resultados da pesquisa, confirmadores da presença dos grupos de projeto na maioria das DMU's eficientes.

Espera-se, pois, que esta pesquisa possa contribuir para o setor de transporte ferroviário nacional, estimulando-o à criação de programas que fomentem a execução de projetos operacionais. Estímulo a ser vinculado aos processos regulatórios do setor ou a outorgas para a construção de novos trechos ferroviários, para apoiado em tal medida, tornar-se ainda mais atrativo para produtores de *commodities*, e pautado por tal estratégia administrativa, manter os produtores brasileiros competitivos no cenário global.

Restou comprovado, pois, que os projetos operacionais de escopos específicos atuam de forma favorável para o aumento da eficiência técnica. Sendo assim, espera-se uma mobilização do setor em direção ao estímulo da execução de projetos com tais características. Dessa forma, novas pesquisas devem ser feitas ao longo do tempo, para verificar a evolução da eficiência do transporte ferroviário de cargas brasileiro, após as implicações dos resultados deste estudo.

Importante enfatizar, que esta pesquisa foi desenvolvida em um cenário econômico de crise imposto pela pandemia de Covid-19 ou SARS-CoV-2, em meio a períodos de *lockdown*, causadores de fortes impactos econômicos. Fator que pode ter interferido, de alguma forma, nos resultados encontrados.

5.1 Limitações da pesquisa

Sobre os aspectos limitadores dos resultados deste estudo, em primeiro plano, coloca-se as dificuldades impostas ao processo de pesquisa, dada a diversidade temática inerente ao

seu escopo teórico. E em segundo plano, sublinhe-se as dificuldades de acesso ao campo de trabalho da modalidade ferroviária, dada as características de sua logística, em especial, no que diz respeito ao armazenamento e transporte das mercadorias. Trata-se, pois, de elementos dificultadores de sua implementação, por impor restrições de natureza investigativa, dificultando o processo de pesquisa de campo, considerando-se, ainda, a interferência da amplitude de sua especificidade, impossível de ser totalmente explorada neste estudo.

5.2 Expansão temática

Com base nas inevitáveis limitações inerentes às pesquisas científicas, geralmente permeadas de incontestes lacunas teóricas, em especial, no plano do desenvolvimento e alcance do objetivo proposto, sugere-se, como expansão do estudo ora finalizado, a exploração dos seguintes veios teóricos: (i) *Mecanismos de combate aos gargalos no fluxo de produção do sistema de transporte ferroviário de cargas*; (ii) *Estratégias de combate ao roubo de cargas no transporte ferroviário*; (iii) *Os desafios da governança corporativa nas organizações do setor de transporte ferroviário de passageiros*; (iv) *Poder público versus poder privado no âmbito da administração do transporte ferroviário de cargas*; (v) *A gestão de pessoas no setor de transporte ferroviário de passageiros*; e (vi) *Os desafios do sistema ferroviário de transporte de passageiros no âmbito dos processos decisórios organizacionais*.

Ao encerramento deste estudo, ratifica-se a importância do tema pesquisado no âmbito da Ciência da Administração, sugerindo a expansão da sua abordagem, para que evolua no tempo e no espaço das possibilidades do seu aprofundamento teórico e empírico. Certamente, muitas de suas variáveis ora sugeridas podem e devem ser retomadas, a partir dos questionamentos surgidos, de forma a serem ratificadas, ampliadas ou refutadas, enfim, objetiva e cientificamente avaliadas no bojo da dinâmica da realidade organizacional sempre em permanente evolução.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, M.R.; MARIANO, E.B.; REBELATTO, D.A.N. *Análise Por Envoltória De Dados - Evolução E Possibilidades De Aplicação*. In: IX SIMPOI – Simpósio de Administração de Produção, Logística e Operações Internacionais, 1982, São Paulo, [Anais...]. São Paulo: 2006.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTE TERRESTRE (ANTT) *Ferrovias: concessões ferroviárias* Disponível em: <<https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/ferrovias/concessoes-ferroviarias>> Acesso em: 09/05/2023

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTE TERRESTRE (ANTT) *Ferrovias: sistemas*. Disponível em: <<https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/ferrovias>>. Acesso em 21/03/2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTE TERRESTRE (ANTT) *Cadernos de Estudos Operacionais e de capacidade – Ferrovia de Integração Oeste Leste: Trecho Caetité/BA – Ilhéus/BA*. Disponível em: < <https://portal.antt.gov.br/documents/359178/2363b4b0-9b6e-cc34-9151-ce1420f3f4e0> > Acesso em: 09/06/2023

ASSIS, A. C. V. *et al.* Ferrovias de Carga Brasileiras: uma Análise Setorial. *Logística. BNDES Setorial*, v. 46, p. 79-126, 2017.

ABPMP. *Um guia para o Gerenciamento de Processos de Negócio Corpo Comum de Conhecimento*. V. 2. Chicago. 2009.

ASSUNÇÃO, M. A.; MENDES, P. J. V. *Mudança e Gestão de Processo em Organização Pública*. Anais do Congresso Internacional del CLAD, Santo Domingo: CLAD, p. 14. 2000

AIGNER, D., K. LOVELL; P. SCHMIDT. Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models. *Journal of Econometrics*, n. 6, p. 21-37, 1997

ATTADIA, L. C. L.; MARTINS, R. A. Medição de Desempenho como Base para Evolução da Melhoria Contínua. *Revista Produção*, v. 13 n. 2. 2003.

BECK, A.; BENT, H.; SHILLING, M. *Railway Efficiency – An Overview and Look at Opportunities for Improvement*. International Transport Forum. Hamburgo, Alemanha, 2013.

BESSANT, J. *et al.* Rediscovering continuous improvement. *Technovation*, v. 14, n. 1, p. 17-29, 1994

BHUIYAN, N.; BAGHEL, A. An overview of continuous improvement: from the past to the present. *Management Decision*, v. 43 n°. 5, p. 761-771, 2005

BLAGOJEVIC, A.; VESKOVIC, S.; KASALICA, S. The application of the fuzzy AHP and DEA for measuring the efficiency os freight transport railway undertakings: Operational Reasearch. In *Engineering Sciences: Theory ans Applications*, v. 3, issue 2, p. 1-23, 2020

BRULON, V.; VIEIRA, M. M. F.; DARBILLY, L. Choque de gestão ou choque de racionalidade? O desempenho da administração pública em questão. *Revista Eletrônica Administrativa – READ*, v. 9, n. 1, abr. 2013.

CALDAS, M. A. *et al.* *Eficiência do Transporte Ferroviário de Cargas: Uma Análise do Brasil e dos Estados Unidos*. Congresso Latino Ibero-Americano de Investigación Operativa e Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional XVI CLAIO - XLIV SBPO, p. 1775-1786. 2012

CANTOS, P.; PASTOR, J. M.; SERRANO, L. *Productivity, Efficiency and Technical Change*. In *European Railways: A Non-Parametric Approach*. Transportation 26: Holanda, p. 337-357, 1999

CASTRO, N. Estrutura, desempenho e perspectivas do transporte ferroviário de carga. *Pesquisa e Planejamento Econômico*, v. 32, n. 2, p. 251-283, ago. 2002.

CHARNES, A.; COOPER, W.W.; RHODES, E. Measuring efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, v. 2, p. 429-454, 1978.

CONSELHO NACIONAL DE TRANSPORTES – CNT. Anuário CNT 2022: Aspectos econômico-financeiros. Disponível em: <
<https://anuariodotransporte.cnt.org.br/2022/Ferrovuario/2-7-2-/Aspectos-econ%C3%B4mico-financeiros>> Acesso em: 9 mai. 2023

CONSELHO NACIONAL DE TRANSPORTES – CNT. *Pesquisa CNT de Ferrovias 2015*. Brasília: Confederação Nacional de Transportes, 2015.

COELLI, T.; RAO, D.S.P.; GEORGE, E. B. Efficiency Measurement Using Data Envelopment Analysis (DEA). In: _____. *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*. Springer, Boston, 1998.

COELLI, T. J.; RAO, D.S.P.; GEORGE, E. B. *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*. 2ª ed. Springer Science, 2005.

COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; TONE, K. *Introduction To Data Envelopment Analysis and Its Uses*. Springer Science, 2000.

COOPER, W.; SEIFORD, L. M.; KAORU, T. *Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software*. Kluwer Academic Publishing: Boston, 2000.

COOPER, W. *Handbook on data envelopment analysis*. Kluwer Academic Publishers: Nova York, 2004.

CORREA, C. A. V. Economic evaluation of current conditions of competition and efficiency of automotive and rail systems in Colombia. *Energy Policy*, v. 46, p. 78-87, 2012

COSTA, A.; CRUZ, C. O.; SARMENTO, J. M.; SOUSA, V. F. Bundling road and railway infrastructure operators: analysis of the impact on efficiency. *Journal of Infrastructure System*, v. 29, n. 1, 040230001, 2023

DA SILVA, F. G. F.; DE OLIVEIRA, R. L. M.; MARINOV, M. An Analysis of effects on rail operational efficiency due to a merger between Brazilian rail companies: The Case of RUMO-ALL. *Sustainability*, v. 12, 2020

FARREL, M. J. The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society A* 120, p.253–81, 1957

FARREL, M. J. On convexity efficiency and markets. *Journal of political Economy*, v. 69, n. 5, out. de 1961

FONTAN, R. G. de O.; ROSA, R. A.; LACRUZ, A. J. Eficiência das ferrovias especializadas em transporte de minério de ferro e pelotas. *Revista de Administração Contemporânea*, v. 26, n. 1, 2022.

GILSA, C. V. *Avaliação Longitudinal da Eficiência e Fator Total de Produtividade em uma Empresa Petroquímica a Partir da Análise Envoltória de Dados (DEA) e do Índice de Malmquist*. São Leopoldo, 160p. Dissertação de Mestrado – Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos, 2012.

HILMOLA, O. European railway freight transportation and adaptation to demand decline. Efficiency and partial productivity analysis from period of 1980-2003. *International Journal of Productivity and Performance Management*, v. 56, n. 3, pp. 205-225, 2007

HILMOLA, O. Benchmarking global railway freight transportation efficiency during the period of 1980–2004. *International Journal Shipping and Transport Logistics*. Vol. 1 pp. 311–328, 2009.

KAO, C.; CHEN, L-H.; WANG, T-Y.; KUO, S.; HORNG, S-D. Productivity Improvement: Efficiency Approach vs Effectiveness Approach. *Omega*, v. 23, n. 2, p. 197-204, 1995.

KUTLAR, A.; KABASAKAL, A.; SARIKAYA, M. *Determination of the efficiency of the world railway companies by method of DEA and comparison of their efficiency by Tobit analysis*. Qual. Quant, 2012.

KAPETANOVIC, M. *et al.* Evaluation of European Railway Companies Efficiency: Application of a Two-Stage Analysis. *Tehnika – Saobraćaj* (64), 2017.

KUANG, X. Evaluation of railway transportation efficiency based on super-cross efficiency. *IOP Conf. Series and Environmental Science*, v. 108, 2018.

LANG, A. E. *As Ferrovias no Brasil e a Avaliação Econômica de Projetos: Uma Aplicação em Projetos Ferroviários*. Dissertação de Mestrado em Transportes, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 2007.

LI, W.; HILMOLA, O. *Belt and Road Initiative and Railway Sector Efficiency - Application of Networked Benchmarking Analysis*. Sustainability, 2019.

LINS, M. P. E.; ÂNGULO-MEZA, L. *A Análise Envoltória de Dados e Perspectiva de Integração no Ambiente do Apoio a Decisão*. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ. 2000

MARIANO, E. B.; *Conceitos Básicos de Análise de Eficiência produtiva*. XIV Simpósio de Engenharia de Produção (SIMPEP), novembro 2007.

MARCHETTI, D.; WANKE, P. *Brazil's rail freight transport: Efficiency analysis using two-stage DEA and cluster-driven public policies*. Socio-Economic Planning Sciences, 2016.

MELLO, J. C. C. B. S.; MEZA, L. A.; GOMES, L. G.; SERAPIÃO, B. P.; LINS, M. P. E. *Curso de Análise de Envoltória de Dados*. XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional – Pesquisa Operacional e o Desenvolvimento Sustentável. Gramado (RS), 2005.

MOITA, M. *Medindo Eficiência Relativa de Escolas Municipais da Cidade do Rio Grande - RS usando a abordagem DEA (Data Envelopment Analysis)*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – UFSC: Florianópolis, 1995.

OECD. *Measuring productivity*. Measurement of aggregate and industry-level productivity growth. OECD Manual, 2001.

PEREIRA, M. A.; ROSA, F. S.; LUNKES, R. J. Análise da Eficiência Ferroviária no Brasil nos anos entre 2009 e 2013. *Transportes*, v. 13, n. 2, 2015.

POSSAS, M. S. *Concorrência e Competitividade: Notas Sobre Estratégia e Dinâmica Seletiva na Economia Capitalista*. Tese de doutorado. UNICAMP, 1993.

ROSA, A. M.; VIEIRA, G. B. B. Transporte Ferroviário de cargas: Estudo comparativo dos modelos existentes e proposições para o caso Brasileiro. *Revista Gestão Industrial. Ponta Grossa*, v. 15, n. 2, p. 131-153, 2019

SANCHEZ, L.; BLANCO, B. Three decades of continuous improvement. *Total Quality Management*, v. 25 n°. 9, p. 986-1001, 2014

SCHWENGBER, S. B. *Mensurando a eficiência no sistema judiciário: métodos paramétricos e não-paramétricos*. 2006. Tese (Doutorado em Economia) – Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Ciência da Informação e Documentação, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

SILVA, F. G. F.; MACAMBIRA, J. K.; ROCHA, C. H. Medindo a eficiência produtiva do transporte por ferrovias brasileiras: Uma aplicação dos modelos DEA e TOBIT. *Pesquisa e Planejamento Econômico (PPE)*, v. 49, n. 3, dez. 2019.

TOMIKAWA, T.; GOTO, M. Efficiency assessment of Japanese National Railways before and after privatization and divestiture using data envelopment Analysis. *Transport Policy*, v. 118, p 44-55, 2022

TUPY, O.; YAMAGUCHI, L. C. T. Eficiência e Produtividade: Conceitos e Medição. *Agricultura em São Paulo*, v. 45, n. 2, p. 39-51, 1998.

VIEIRA, G. B. B. *Transporte Internacional de Cargas*. 2. ed. São Paulo: Aduaneiras, 2003.

VLI LOGÍSTICA. Disponível em: < <https://www.vli-logistica.com.br/quem-somos/> > Acesso em: 11/05/2023

YANG, X.; LI, J. Q.; WANG, C.; WANG, K. Data Envelopment Analysis for the selection of Highway-rail grade separation projects. *Journal of Transportation Engineering Part A – Systems*, v. 149, n. 6, 2023

YIN, R. K. *Estudo de caso: planejamento e métodos*. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

YU, M.; LIN, E. T. J. *Efficiency and effectiveness in railway performance using a multi-activity network DEA model*. *The International Journal of Management Science*, 2007.

APÊNDICES

Anexo 1 - Exemplo de projetos operacionais e aplicação da GUT adaptada

Projeto	GUT Adaptada	Impacto	Dimensão	Processo produtivo
Programar trens no intercâmbio com intervalo de 50 minutos	27	3	3	3
Locotrol Grão Corredor Centro Sudeste	18	2	3	3
Formação Locotrol CS SD70/AC44 , SD70/GT e SD70/SD70	18	2	3	3
Viabilizar intercâmbio de tricotrol na FNS/EFC	18	3	3	3
Implantação do modelo locotrol nas margens esquerda e direita da Baixada Santista	12	3	3	3
Transformar os vagões gôndolas cativos no fluxo CMP para fundo liso.	12	3	3	3
Descarga Flat em Tubarão - Grãos VTU	8	2	3	3
Aumento da Capacidade da Baía de Descarga de Vagões Gôndola em Araxá	8	2	3	3
Adequar a grade do trem vazio torete Suzano antes da faixa de Manutenção VP Vitória Minas	6	3	1	1
Realizar serviços de via permanente para viabilizar a retirada de Helper em PIZ4	6	3	3	3
Instalação de DTQ nos trechos 2 e 3 para viabilizar o aumento de VMA #MiniMBA	6	1	3	3
Adequação Peso Médio Torete Suzano	6	3	1	1
Redução do ciclo de vagões (6º e 7º Lotes)	6	3	1	1
Implantar gestão de peso médio por frota e reduzir quantidade de vagão por lote	4	1	3	3

Fonte: Elaborado pelo autor

Anexo 2 – Exemplo de projetos operacionais do grupo aumento de carga

Caracterização	Projeto	GUT Adaptada
Aumento de carga	Locotrol Grão Corredor Centro Sudeste	18
Aumento de carga	Formação Locotrol CS SD70/AC44 , SD70/GT e SD70/SD70	18
Aumento de carga	Implantação do modelo locotrol nas margens esquerda e direita da Baixada Santista	12
Aumento de carga	Adequação Peso Médio Torete Suzano	6
Aumento de carga	Aumentar a quantidade de vagões trem de enxofre.	4
Aumento de carga	Implantar gestão de peso médio por frota e reduzir quantidade de vagão por lote	4
Aumento de carga	Viabilizar o modelo de trens Locotrol de açúcar no corredor CS	4
Aumento de carga	Alterar padrão de carregamento Bamin de 29 para 28 vagões	4
Aumento de carga	Construir modelos de trem D com mais de 53 vagões	3
Aumento de carga	Melhoria da Otimização/Eficiência dos Trens de Fertilizantes VTU/EBJ	2
Aumento de carga	Recuperação de vagões de toretes queimados	2
Aumento de carga	Aumento tamanho do lote Container AMT (ENG-VTU) a partir do ganho da implementação da iniciativa #26215	2
Aumento de carga	Aumento de FMQ em GFD/E	2
Aumento de carga	#FMDSBAUXITA Bauxita 102 GFDs	2
Aumento de carga	Aumento no tamanho do trem de celulose Cenibra destino Portocel	2
Aumento de carga	#FMDS Redução do número de vagões com tara alta	1
Aumento de carga	Verificar viabilidade de aumentar o trem tipo da frota celulose	1

Fonte: Elaborado pelo autor

Anexo 3 – Exemplo de projetos operacionais do grupo circulação

Caracterização	Projeto	GUT Adaptada
Circulação	Realizar serviços de via permanente para viabilizar a retirada de Helper em PIZ4	6
Circulação	Instalação de DTQ nos trechos 2 e 3 para viabilizar o aumento de VMA #MiniMBA	6
Circulação	#EE - Realizar estudo de aumento de VMA em restrições ANTT	4
Circulação	Aumentar a VMA no ramal CSN	2
Circulação	Aumentar velocidade trens categoria C no sentido vazio e carregado - Rota do Calcário (Supervisões VP de Lavras e Barra Mansa)	2
Circulação	Implantar chave de mola e/ou detector de vedação de agulha nos pátios assistidos da FNS	2
Circulação	Retirada de restrições de VP na região do gargalo entre Ituverava-Orlândia	2
Circulação	Melhoria Transit Time ZCB-ZTD - Fase II	2
Circulação	Integração Bauxita - Circulação Inteligente	2
Circulação	Trem de torete entrando direto para o terminal da Suzano em Aracruz sem rodar a pera.	2
Circulação	Execução do plano de manutenção da serra de Pestana - VP MR	2
Circulação	Retirada de restrição para tipo de locomotiva margem direita	1
Circulação	Implantar cadenciamento de trens no corredor - Escopo CN	1
Circulação	Retirada de restrições de via permanente no trecho da FTL em QPM	1

Fonte: Elaborado pelo autor

Anexo 4 – Exemplo de projetos operacionais do grupo planejamento

Caracterização	Projeto	GUT Adaptada
Planejamento	Programar trens no intercâmbio com intervalo de 50 minutos	27
Planejamento	Realizar programação comercial de carregamento DVC no Pool e G2 com base grade trens FNS	2
Planejamento	Definição do modelo padronizado do trem do Cromo	2
Planejamento	Padronização do processo de manobra do minério Bamin em Licínio de Almeida	2
Planejamento	Painel Corredores - #Ci	1
Planejamento	Minimização das perdas de volume do combustível Centro Norte por incompatibilidade de ativos entre VLI e Clientes (Vagões e bases de cgto)	1
Planejamento	Grades de Trens considerando carregamentos Fora Horário de Ponta Energia	1
Planejamento	Padronizar modelo de formação de trens em QPM	1
Planejamento	Criação do mapa de gargalos "on-line" dos corredores - #Ci	1
Planejamento	Sistema para controle - Detalhamento Nível Takt Time - #Ci	1
Planejamento	Revisar os modelos de trens da região do Sertão	1
Planejamento	Centro de inteligência - Road Map 2021/2022 - #Ci	1
Planejamento	TPS - Integração de corredor Centro Sudeste	1
Planejamento	Implantar gestão de processo do combustível através de agente do pool	1
Planejamento	Estabelecer trade-off em caso de atraso de faixa multas x receita	1

Fonte: Elaborado pelo autor

Anexo 5 – Exemplo de projetos operacionais do grupo trem parado

Caracterização	Projeto	GUT Adaptada
Trem parado	Viabilizar intercâmbio de tricotrol na FNS/EFC	18
Trem parado	Transformar os vagões gôndolas cativos no fluxo CMP para fundo liso.	12
Trem parado	Descarga Flat em Tubarão - Grãos VTU	8
Trem parado	Aumento da Capacidade da Baía de Descarga de Vagões Gôndola em Araxá	8
Trem parado	Adequar a grade do trem vazio torete Suzano antes da faixa de Manutenção VP Vitória Minas	6
Trem parado	Redução do ciclo de vagões (6º e 7º Lotes)	6
Trem parado	Câmeras 360 na Entrada dos Pátios de Eldorado e Parque Industrial	4
Trem parado	Buffer de vagões do Grão VTU em EBJ	4
Trem parado	Reduzir THP motivo fast track nos meses pico da safra	4
Trem parado		4
	Eliminação de gargalo para o trem VLI parado no Paratinga	4
Trem parado	Mini Vala para atendimento de antenas de ATC	4
Trem parado	Realizar Mini sinalização de ATC em PFL	4
Trem parado		4
	Padronização do processo de carregamento em CMP junto ao cliente MOSAIC e operação VLI - Projeto Green Belt	4
Trem parado		4
	Melhorar produtividade na descarga do Minério Bamin em Petim	4

Fonte: Elaborado pelo autor

Anexo 6 – Exemplo de tipos de projetos do grupo aumento de carga

Tipos de projeto	Nome do projeto
Aderência ao trem tipo	Recuperação de vagões de toretes queimados
Aderência ao trem tipo	Adequação do pátio Suzano para intervenções mecânicas
Aderência ao trem tipo	Aumentar em 29 vagões a disponibilidade na frota bauxita Centro Sudeste
Aderência ao trem tipo	Liberar 130 vagões de incremento para volume Bamin
Aderência ao trem tipo	Implantar ponto de manutenção (Corretivas Leves) no Ramal do Rafa
Aderência ao trem tipo	Achatar curva de backlog vagões tanques
Aderência ao trem tipo	Liberar 17 vagões de incremento do DVC
Alteração de trem tipo	Locotrol Grão Corredor Centro Sudeste
Alteração de trem tipo	Formação Locotrol CS SD70/AC44 , SD70/GT e SD70/SD70
Alteração de trem tipo	Implantação do modelo locotrol nas margens esquerda e direita Santos
Alteração de trem tipo	Aumentar a quantidade de vagões trem de enxofre.
Alteração de trem tipo	Viabilizar o modelo de trens Locotrol de açúcar no corredor CS
Alteração de trem tipo	Construir modelos de trem D com mais de 53 vagões
Alteração de trem tipo	Melhoria da Otimização/Eficiência dos Trens de Fertilizantes VTU/EBJ
Alteração de trem tipo	Bauxita 102 GFDs
Alteração de trem tipo	Aumento no tamanho do trem de celulose Cenibra destino Portocel
Alteração de trem tipo	Verificar viabilidade de aumentar o trem tipo da frota celulose
Alteração de trem tipo	Realizar carregamento de clínquer em HFDs e liberar GFEs para o calcário
Alteração de trem tipo	Realizar troca (inversão de frota) dos vagões GFEs MR
Aumento de peso médio	Adequação Peso Médio Torete Suzano
Aumento de peso médio	Gestão de peso médio por frota e reduzir quantidade de vagão por trem
Aumento de peso médio	Alterar padrão de carregamento Bamin de 29 para 28 vagões
Aumento de peso médio	Aumento de FMQ em GFD/E
Aumento de peso médio	Redução do número de vagões com tara alta
Aumento de peso médio	Substituir matriz de vagões da Ferbasa

Fonte: Elaborado pelo autor

Anexo 7 – Exemplo de tipos de projetos do grupo trem parado

Tipos de projeto	Nome do projeto
Agilidade em documentação	[#cliente] Eliminação SGDS sistema Vale
Agilidade em documentação	Faturista Mosaic Uberaba
Agilidade em documentação	Eliminar problemas de TI sobre a migração de trens para EFC
Melhora em atendimento de trecho	Utilização de Veículos Rodo-Ferroviários
Melhora em atendimento de trecho	Disponibilizar sargento nas locomotivas em caso de quebras de trilho
Melhora em atendimento de trecho	Realizar reparo dos veículos de resgate ferroviário do corredor Minas Bahia.
Melhora em inspeções	Produtividade Pátio ZOP
Melhora em inspeções	Reduzir THP motivo fast track nos meses pico da safra
Melhora em inspeções	Adequação de acesso ao fast track
Performance de carregamento/descarga	Otimizador operação Terminal Porto Franco
Performance de carregamento/descarga	Adequação da Tancagem de Roncador Novo-GO
Performance de carregamento/descarga	#FMDSBAUXITA - Projeto da descarga em carrossel CBA
Performance de manobra	Acompanhamento de performance dos terceiros
Performance de manobra	Giro de Locomotivas CBA
Performance de manobra	Buffer de vagões do Grão VTU em EBJ
Performance de manobra	Aumento da Capacidade da Baía de Descarga de Vagões Gôndola em Araxá
Redução de ocorrências	Redução de 80% das ocorrências ferroviárias no terminal da CMOC (Cubatão-SP)
Redução de ocorrências	Implantação de Detectores de Trilho Quebrado na FNS
Redução de tempo parado	Eliminação de gargalo para o trem VLI parado no Paratinga
Redução de tempo parado	Controle anual da manutenção dos coletores de Pó dos vagões
Redução de tempo parado	Revisão dos procedimentos de meteorologia
Tempo de troca de maquinista	Implantar estrutura em Palmeirante para prontidão na sede
Tempo de troca de maquinista	Otimização ponto de troca Paulista (ZOP-ZCB-ZRP)
Tempo de troca de maquinista	Infra para operação em ECA
Tempo de troca de maquinista	Implantar troca de equipe digital

Fonte: Elaborado pelo autor

Anexo 8 – Exemplo de tipos de projetos do grupo circulação

Tipo de projeto	Nome do projeto
Aumento de velocidade	Aumentar velocidade trens categoria C no sentido vazio e carregado - Rota do Calcário
Aumento de velocidade	#EE - Realizar estudo de aumento de VMA em restrições ANTT
Aumento de velocidade	Aumentar a VMA no ramal CSN
Restrição de velocidade	Retirada de restrição para tipo de locomotiva margem direita
Restrição de velocidade	Retirada de restrições de via permanente no trecho da FTL em QPM
Restrição de velocidade	#FMDS - Liberar interdição AMV CBA
Restrição de velocidade	Redução de restrições de VP causa infra
Restrição de velocidade	Retirada de restrições de VP na região do gargalo entre Ituverava-Orlândia
Restrição de velocidade	Avaliar atuação em restrições sistêmicas e reincidentes no período chuvoso
Velocidade média	Equipe volante para reaperto dos cabos de aço da carga de Torete EPM
Velocidade média	Implantar cadenciamento de trens no corredor - Escopo CN
Velocidade média	Realizar serviços de via permanente para viabilizar a retirada de Helper em PIZ4
Velocidade média	Implantar desacoplamento dinâmico de loco helper na FNS
Velocidade média	Alterar termômetro de Minduri
Velocidade média	Mudança no modelo de trens MR para reduzir impactos no período de frio
Velocidade média	Implantar chave de mola e/ou detector de vedação de agulha nos pátios assistidos da FNS
Velocidade média	Avaliar utilização de locomotivas DASH no corredor Minas Rio
Velocidade média	Instalar freio eletrônico e OBC nas locomotivas do fluxo DVC e Bamin
Velocidade média	Reativar pátio de cruzamento de Buranhém
Velocidade média	Integração Bauxita - Circulação Inteligente
Velocidade média	Saneamento vegetal com rodoferroviário / batedor derivados
Velocidade média	Melhoria Transit Time ZCB-ZTD - Fase II
Velocidade média	Implantar nova SB virtual entre ZCB-ZTD
Velocidade média	Implantação de novas SB virtuais e correção das existentes na FNS
Velocidade média	Circulação inteligente MR Calcário CSN
Velocidade média	Instalação de DTQ nos trechos 2 e 3 para viabilizar o aumento de VMA #MiniMBA

Fonte: Elaborado pelo autor

Anexo 9 – Exemplo de tipos de projetos do grupo planejamento

Tipo de projeto	Nome do projeto
Gestão de informação	Painel Corredores - #Ci
Gestão de informação	TPS - Integração de corredor Centro Sudeste
Gestão de informação	Centro de inteligência - Road Map 2021/2022 - #Ci
Gestão de informação	Sistema para controle - Detalhamento Nível Takt Time - #Ci
Gestão de informação	Criação do mapa de gargalos "on-line" dos corredores - #Ci
Gestão de informação	Painel comum para acompanhamento dos trens / Vagões na Vitória Minas
Padrão de trem	Definição do modelo padronizado do trem do Cromo
Padrão de trem	Padronizar modelo de formação de trens em QPM
Padrão de trem	Revisar os modelos de trens da região do Sertão
Padrão de trem	Estudo para definição de padrões dos lotes destinados a QPM
Padrão de trem	Padronização do processo de manobra do minério Bamin em Licínio de Almeida
Padronização de premissas	Implantar gestão de processo do combustível através de agente do pool
Padronização de premissas	Estabelecer trade-off em caso de atraso de faixa multas x receita
Padronização de premissas	Alteração de metodologia de apuração de multa por atraso de faixa na FTL
Padronização de premissas	Acompanhamento de premissas para incremento de volume de Combustível na CS
Programação de trens/ativos	Realizar programação comercial de carregamento DVC com base grade trens FNS
Programação de trens/ativos	Grades de Trens considerando carregamentos Fora Horário de Ponta Energia
Programação de trens/ativos	Programar trens no intercâmbio com intervalo de 50 minutos
Programação de trens/ativos	Painel Takt Time - Corredor Centro Sudeste
Programação de trens/ativos	Redução de locomotivas de manobra de ZAI
Programação de trens/ativos	Aumento da operação de carregamento na Replan
Programação de trens/ativos	Minimização das perdas do combustível FNS por incompatibilidade de ativos VLI e Clientes
Programação de trens/ativos	Desenvolver remota que garanta o monitoramento do rádio DDC
Programação de trens/ativos	Desenho operacional para blocagem (40/40) utilizando-se de input comercial em SOP
Programação de trens/ativos	Melhoria estrutural na Operação em PFL

Fonte: Elaborado pelo autor

Anexo 10 – Meta para as DMU's consideradas ineficientes segundo análise DEA /VRS

			Benchmark				Meta				Atual DMU ineficiente				Redução para a meta			
DMU			N	N	N		N	N	N		N	N	N		N	N	N	
Inef.	Bench.	λ	GUT	Vagões	Fun.	Loc.	GUT	Vagões	Fun.	Loc.	GUT	Vagões	Fun.	Loc.	GUT	Vagões	Fun.	Loc.
jun/20	jul/20	0,95	0	19868	8197	459												
	set/20	0,05	0	19989	8155	455	0	19873	8195	459	0	19936	8243	459	-	0%	1%	0%
	fev/22	0,56	8	18826	7627	428												
dez/20	out/20	0,44	0	19943	8122	453	4	19316	7844	439	21	20085	8022	449	79%	4%	2%	2%
	dez/21	0,00	3	18963	7628	445												
	jan/22	0,59	8	18618	7631	434												
jan/21	fev/22	0,36	8	18826	7627	428	10	18701	7649	432	11	18895	7997	437	13%	1%	4%	1%
	mar/21	0,05	41	18768	8040	448												
	ago/21	0,57	6	18814	8011	454												
set/21	fev/22	0,38	8	18826	7627	428	8	18812	7860	444	8	18828	7968	444	0%	0%	1%	0%
	mar/21	0,03	41	18768	8040	448												
	jan/22	0,02	8	18618	7631	434												
out/21	fev/22	0,51	8	18826	7627	428												
	fev/21	0,34	2	18782	7990	448	6	18891	7749	438	6	18997	7902	440	6%	1%	2%	1%
	set/22	0,15	6	19356	7608	446												
	set/20	0,00	0	19989	8155	455												
	fev/22	0,71	8	18826	7627	428												
nov/21	fev/21	0,17	2	18782	7990	448												
	jan/22	0,08	8	18618	7631	434	7	18804	7698	433	28	18902	7738	435	75%	1%	1%	1%
	ago/21	0,02	6	18814	8011	454												
	dez/21	0,02	3	18963	7628	445												

Fonte: Elaborado pelo autor