

Cenários Prospectivos para o Desenvolvimento do Modal Ferroviário Brasileiro: uma Aplicação do Método Momentum.

Gabriel Pereira de Oliveira Capela (UFF) *gabrielcapela@id.uff.br*

Luiz Antônio Arêdes Figueira (UFF) *luizfigueira@id.uff.br*

Mariana Gama d'Ávila (UFF) *mgdavila@id.uff.br*

Carlos Francisco Simões Gomes (UFF) *cfsg1@bol.com.br*

Marcos dos Santos (UFF) *marcosdossantos_doutorado_uff@yahoo.com.br*

Resumo

O desenvolvimento do modal ferroviário brasileiro é estratégico para a competitividade logística, a redução de custos de transporte e a sustentabilidade do sistema nacional de mobilidade. Contudo, o setor enfrenta incertezas relacionadas a investimentos, governança, integração modal e eficiência operacional, o que dificulta o planejamento de longo prazo. Diante desse contexto, este artigo tem como objetivo construir cenários prospectivos para o desenvolvimento do modal ferroviário brasileiro no horizonte de 2035, utilizando o Método Momentum como ferramenta de apoio à decisão. A metodologia adotada envolve a identificação e análise de variáveis-chave, a avaliação de suas tendências e inter-relações e a geração de cenários consistentes e comparáveis. Como resultado, foram elaborados três cenários prospectivos: Expansão Integrada, caracterizada por elevados investimentos, coordenação institucional e integração logística; Eficiência Moderada, marcada por avanços pontuais e melhorias operacionais limitadas; e Estagnação Operacional, associada à baixa capacidade de investimento e à manutenção de gargalos estruturais. Conclui-se que o Método Momentum se mostra adequado para apoiar a construção de cenários no setor ferroviário, contribuindo para o planejamento estratégico e para a formulação de políticas públicas orientadas ao desenvolvimento do modal.

Palavras-Chave: *Ferrovias, Cenários Prospectivos, Método Momentum.*

1. Introdução

A implantação das ferrovias no Brasil teve início em 1854, com a inauguração da Estrada de Ferro Petrópolis, que ligava Porto Mauá a Fragozo, no estado do Rio de Janeiro. A expansão inicial do sistema ferroviário ocorreu de forma lenta e predominantemente por iniciativa privada, impulsionada pelo regime de concessões adotado no período imperial, que buscava atrair capital, sobretudo estrangeiro (Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional - IPHAN, 2014). As primeiras linhas foram implantadas com o objetivo de conectar centros produtores agrícolas e minerais aos portos, atendendo às demandas da economia exportadora. Apesar da elaboração de diversos planos de viação no final do século XIX e no início do século XX, a política de concessões resultou em uma malha fragmentada, com integração nacional limitada (IPHAN, 2014).

A evolução do sistema ferroviário brasileiro esteve historicamente associada às políticas públicas e ao grau de intervenção do Estado, podendo ser compreendida em fases distintas (Associação Nacional de Transporte Ferroviário - ANTF, 2024). Após um período de implantação e expansão privada entre o final do século XIX e o início do século XX, o Estado passou a assumir o controle de empresas em dificuldades financeiras, intensificando sua atuação a partir da década de 1930. Entre 1960 e 1990, a malha ferroviária esteve concentrada em poucas empresas públicas, com a erradicação de ramais considerados antieconômicos e a implantação de projetos seletivos de caráter estratégico. A partir da década de 1990, iniciou-se um novo ciclo marcado pela concessão de todo o sistema ferroviário nacional à iniciativa privada, consolidando o protagonismo do capital privado nos investimentos do setor. Desde 2018, esse processo tem sido aprofundado por meio de prorrogações antecipadas de concessões, expansão da capacidade e modernização tecnológica, consolidado pelo novo marco legal instituído pela Lei nº 14.273/2021 (ANTF, 2024).

Do ponto de vista institucional, o setor ferroviário brasileiro envolve a atuação de diversos agentes públicos. A Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) é responsável pela regulação, supervisão e fiscalização da infraestrutura ferroviária federal concedida à iniciativa privada (ANTT, 2025). O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) atua na execução de obras ferroviárias sob sua responsabilidade, com destaque para a eliminação de conflitos entre ferrovias e vias urbanas, a gestão do patrimônio da extinta Rede Ferroviária Federal e o desenvolvimento de normas técnicas (DNIT, 2025). Além disso, o modal ferroviário desempenha papel relevante no sistema de transportes brasileiro, contribuindo para a redução de custos logísticos, maior segurança operacional e

menores emissões de gases de efeito estufa, alinhando-se às diretrizes de sustentabilidade do setor (MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, 2025).

Nesse contexto, caracterizado por investimentos de longo prazo, múltiplos atores e elevada incerteza, as técnicas de elaboração de cenários prospectivos destacam-se como instrumentos relevantes de apoio à decisão estratégica. Os cenários prospectivos permitem explorar futuros alternativos plausíveis, organizando tendências e incertezas em narrativas consistentes, ampliando a compreensão sobre possíveis trajetórias de desenvolvimento sem a pretensão de prever o futuro (OLIVEIRA *et al.*, 2018) (CORDOVA-POZO; ROUWETTE, 2023).

Dentre essas técnicas, o Método Momentum (GOMES; COSTA, 2013). Destaca-se por oferecer uma estrutura sistemática para a construção de cenários prospectivos. Embora concebido para integrar a visão prospectiva a técnicas de decisão multicritério, neste estudo o método é aplicado exclusivamente até a etapa de elaboração dos cenários. Assim, o objetivo deste trabalho é aplicar o Método Momentum para construir cenários prospectivos do desenvolvimento do modal ferroviário brasileiro no horizonte de 2035, apoiando o planejamento estratégico e a compreensão de possíveis trajetórias futuras do setor.

2. Referencial Teórico

2.1. Elaboração de Cenários Prospectivos

A literatura sobre estudos de futuro revela uma vasta pluralidade metodológica. Conforme a revisão bibliométrica realizada por Oliveira *et al.* (2018), as técnicas oscilam entre abordagens quantitativas, como a Análise de Impacto Cruzado, e qualitativas, como a Lógica Intuitiva. Essa diversidade é sistematizada por Cordova-Pozo e Rouwette (2023), que categoriza o planejamento em três escolas principais: Lógica Intuitiva, *La Prospective* e Tendências Probabilísticas Modificadas, ressaltando a importância de definir claramente as etapas de construção para garantir a efetividade estratégica.

Em setores de infraestrutura crítica e de indústria, nota-se uma tendência à combinação de ferramentas para lidar com incertezas. Farias *et al.* (2020) Exemplifica o método Delphi para mitigar riscos no abastecimento. Já em contextos de transição tecnológica, métodos híbridos ganham força: o estudo de Indrajayanthan *et al.* (2022) Uma análise SWOT com lógica *fuzzy* para hierarquizar fatores de influência.

A dimensão física e material dos cenários é explorada por meio de modelagens específicas. Enquanto Radloff, Abdelshafy, e Walther (2023) integram fluxos materiais *top-down* a modelos de processo *bottom-up* na siderurgia (Delbecq *et al.*). (2023) Utilizam a metodologia GRAFS para projetar fluxos em cenários agroecológicos. Paralelamente, a Avaliação do Ciclo de Vida prospectiva é aplicada tanto no desenvolvimento de estruturas automotivas (OSTERMANN *et al.*, 2023), quanto na análise de tecnologias emergentes como o grafeno (COSSUTTA *et al.*, 2020). Por fim, abordagens como as de Lemes de Oliveira e Mahmoud (2024) Resgatam a importância das narrativas qualitativas e das visões desejáveis no planejamento urbano.

Diante desse amplo espectro, optou-se por uma metodologia capaz de estruturar rigorosamente variáveis críticas e incertas, ao mesmo tempo em que permite a construção de narrativas prospectivas consistentes para o setor ferroviário, sendo o Método Momentum considerado uma ferramenta adequada para atender a esse objetivo.

2.2. O Método Momentum

O Método Momentum, desenvolvido por Gomes e Costa (2013), é uma abordagem de prospecção de cenários que visa estruturar a incerteza e apoiar a formulação de estratégias, sendo reconhecido na literatura brasileira como um modelo híbrido que integra a visão prospectiva a técnicas de modelagem.

O desenvolvimento e a aplicação do Momentum são amplamente documentados no contexto brasileiro, frequentemente associados à necessidade de tomar decisões robustas. Inicialmente, o método surge da percepção de que a integração da visão prospectiva com o Apoio Multicritério à Decisão (MCDM - *Multi-Criteria Decision Making*) pode gerar sugestões mais seguras para o decisor, mitigando riscos de decisões baseadas em uma única visão de futuro (GOMES; COSTA, 2013). Essa característica de integrar os mundos da prospecção e da decisão levou o Momentum a ser aplicado em diversos campos estratégicos no Brasil.

Em um contexto de crise, como a pandemia de COVID-19, o método demonstrou sua utilidade ao prospectar cenários para setores vulneráveis, como o turismo (DREI *et al.*, 2023; JUNIOR *et al.*, 2023) e a demanda por derivados de petróleo (RODRIGUES *et al.*, 2021). Recentemente, foi empregado para otimizar a gestão de portfólios em empresas de treinamento (MELLEM *et al.*, 2021) e até mesmo para propor cenários de intervenção em rodovias federais (PEREIRA *et al.*, 2022), demonstrando sua adaptabilidade a problemas logísticos e de

infraestrutura. O método também é utilizado na seleção de empresas a serem incubadas, o que evidencia sua versatilidade para avaliar alternativas sob diferentes cenários futuros (OLIVEIRA *et al.*, 2021).

O Momentum é um método sequencial, dividido em 13 etapas, sendo as oito primeiras focadas exclusivamente na construção dos cenários, que é o objetivo desta pesquisa. Conforme detalhado na literatura (PEREIRA *et al.*, 2022) essas etapas são:

1. Visão geral do sistema;
2. Mapeamento dos atores relevantes;
3. Identificação das variáveis;
4. Análise SWOT do Sistema;
5. Elicitação das Incertezas;
6. Seleção das variáveis relevantes;
7. Definição dos indicadores-chave; e
8. Elaboração dos Cenários Prospectivos.

O presente estudo concentra-se na aplicação desses primeiros oito passos, garantindo a solidez da base prospectiva antes de qualquer etapa de decisão.

3. Metodologia

Esta pesquisa caracteriza-se como exploratória e qualitativa, com abordagem descritivo-analítica, buscando estruturar e compreender possíveis trajetórias futuras para o desenvolvimento do modal ferroviário brasileiro em um horizonte de dez anos. O estudo fundamenta-se na perspectiva da prospecção estratégica, adotando a construção de cenários como instrumento de apoio ao planejamento em contextos marcados por incertezas e elevada complexidade sistêmica.

O levantamento do referencial teórico foi realizado por meio de uma revisão da literatura científica, tendo como principal fonte a base de dados Scopus. As buscas contemplaram temas relacionados a cenários prospectivos, planejamento estratégico, métodos de prospecção e suas aplicações em infraestrutura e transportes. Os trabalhos selecionados forneceram a base conceitual para a compreensão dos cenários prospectivos e para o embasamento metodológico do Método Momentum.

Complementarmente, realizou-se a coleta de dados documentais com base em informações disponíveis em fontes institucionais oficiais e em entidades setoriais de referência,

incluindo órgãos governamentais e associações representativas do setor ferroviário brasileiro (ANTT, ANTF, Ministérios dos Transportes, entre outros). Esses materiais permitiram a contextualização histórica, institucional e operacional do modal ferroviário, bem como a identificação dos principais atores e das diretrizes regulatórias do setor.

A técnica de análise dos dados baseou-se na aplicação do Método Momentum, adotado neste trabalho até a etapa de construção de cenários prospectivos. Inicialmente, definiu-se o problema e o sistema em análise, delimitando-se o horizonte temporal até 2035. Em seguida, identificaram-se os atores relevantes e as variáveis estratégicas associadas ao desenvolvimento do setor ferroviário. Essas variáveis foram analisadas quanto às suas inter-relações, com o apoio da matriz de impacto cruzado. A partir dessa estruturação, foram elaborados cenários prospectivos que representam diferentes combinações de evolução do modal ferroviário brasileiro.

4. Resultados e Discussão

4.1. Visão Geral do Sistema

O sistema ferroviário brasileiro apresenta elevada relevância estratégica, porém, ainda limitada participação na matriz de transportes. Atualmente, segundo a ANTT, o país possui aproximadamente 29,8 mil quilômetros de trilhos, o que o coloca entre as maiores extensões ferroviárias do mundo. Apesar disso, o modal ferroviário responde por cerca de 21% do transporte de cargas, evidenciando um desequilíbrio diante da predominância do transporte rodoviário. Em 2024, o setor atingiu um recorde operacional, transportando mais de 540 milhões de toneladas úteis de carga geral e de minério de ferro, demonstrando seu potencial logístico. Paralelamente, existem requerimentos e autorizações para a implantação de mais de 22 mil quilômetros de novas ferrovias, com investimentos previstos da ordem de R\$ 295 bilhões, o que sinaliza perspectivas de expansão significativa. Contudo, a baixa densidade da malha ferroviária, aliada aos elevados custos logísticos nacionais, reforça a necessidade de planejamento estratégico e de desenvolvimento institucional para ampliar a eficiência e a competitividade do sistema ferroviário brasileiro.

4.2. Mapeamento dos Atores Relevantes

O desenvolvimento do modal ferroviário brasileiro envolve um conjunto diverso de atores institucionais, econômicos e sociais, cujas decisões e interações influenciam diretamente a expansão do sistema.

- **Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT):** Responsável pela regulação, supervisão e fiscalização das concessões ferroviárias, a ANTT define normas, acompanha o cumprimento contratual e atua no equilíbrio entre interesses públicos e privados, influenciando diretamente a eficiência e a segurança da operação ferroviária.
- **Ministério dos Transportes:** Atua na formulação de políticas públicas, diretrizes estratégicas e planos nacionais de logística e transportes, orientando os investimentos e o desenvolvimento do setor ferroviário, em consonância com os objetivos de integração e competitividade nacionais.
- **Secretarias Estaduais e Municipais de Transportes:** Exercem papel relevante na articulação local e regional, especialmente na integração das ferrovias aos sistemas urbanos e aos demais modais, além de participarem da gestão de conflitos territoriais.
- **Secretaria Nacional de Transporte Ferroviário:** Responsável pela coordenação de políticas específicas para o modal ferroviário, atua no fortalecimento institucional do setor e na ampliação da participação das ferrovias na matriz de transportes brasileira.
- **Setor Produtivo (Agronegócio, Mineração e Indústria):** Principal demandante de serviços ferroviários, influencia decisões sobre capacidade, traçado e priorização de investimentos, sendo determinante para a viabilidade econômica dos projetos ferroviários.
- **Operadoras Ferroviárias (Vale, MRS, VLI Logística, entre outras):** Atuam na operação, manutenção e expansão da infraestrutura ferroviária concedida, desempenhando papel central na eficiência operacional, na confiabilidade do serviço e na modernização tecnológica do sistema.
- **Órgãos Ambientais (IBAMA, ICMBio):** Responsáveis pelo licenciamento ambiental e pela fiscalização dos empreendimentos ferroviários, asseguram a conformidade legal e a incorporação de critérios ambientais e de sustentabilidade nos projetos.
- **Sociedade Civil e Comunidades Locais:** Participam dos processos decisórios por meio de consultas e audiências públicas, contribuindo para a legitimidade social dos projetos e para a identificação e mitigação de impactos socioambientais.
- **Instituições de Financiamento e Investimento:** Viabilizam economicamente os projetos ferroviários por meio de crédito e capital, influenciando o ritmo, a escala e a priorização dos investimentos no setor.

- **Associações Setoriais (ANTF, ABRALOG, CNT):** Representam os interesses do setor, promovem estudos técnicos, disseminam boas práticas e atuam como instâncias de articulação entre agentes públicos e privados.
- **Universidades:** Contribuem para o desenvolvimento do setor por meio da pesquisa científica, da formação de recursos humanos e da inovação tecnológica, apoiando o planejamento e a modernização do sistema ferroviário.

4.3. Identificação das Variáveis

A identificação das variáveis define os elementos que influenciam a evolução futura do sistema ferroviário brasileiro. As variáveis selecionadas representam fatores econômicos, operacionais e logísticos que condicionam o desempenho do modal ferroviário no horizonte prospectivo analisado. A Tabela 1 descreve as variáveis consideradas no estudo.

Tabela 1 – Identificação das Variáveis

Variável	Descrição	Fonte
V_1 - Quantidade de minério produzido	Refere-se ao volume total de minério extraído no país, expresso em toneladas. Essa variável é relevante por representar uma das principais demandas estruturais do transporte ferroviário brasileiro.	IBGE
V_2 - Custo de transporte ferroviário	Representa o custo médio associado ao transporte ferroviário de cargas, geralmente expresso em reais por tonelada-quilômetro útil (R\$/TKU). Essa variável influencia diretamente a competitividade do modal ferroviário em relação aos demais modais de transporte.	ANTT
V_3 - Quantidade total de cargas movimentadas por ferrovias federais	Expressa o volume total de cargas transportadas pelas ferrovias federais, em toneladas (TKU). Trata-se de um indicador do nível de utilização e do desempenho operacional da malha ferroviária.	ANTT
V_4 - Comprimento total da malha ferroviária em operação no Brasil	Corresponde à extensão total, em quilômetros, das ferrovias em operação sob concessões federais e estatais. Essa variável reflete a capacidade estrutural do sistema ferroviário e sua cobertura territorial.	ANTT
V_5 - Investimento anual em infraestrutura ferroviária	Diz respeito ao volume de recursos financeiros aplicados anualmente à infraestrutura ferroviária, incluindo a expansão da malha, a modernização tecnológica e a aquisição de material rodante. Engloba investimentos públicos e privados e é expressa em valores monetários.	ANTF
V_6 - Participação	Indica a proporção do volume total de cargas transportadas no país que utiliza o modal ferroviário, geralmente expressa em	ANTF

das ferrovias na matriz nacional de transporte de cargas	TKU. Essa variável expressa o grau de inserção do modal ferroviário na logística nacional.	
V₇ - Número de locomotivas em serviço nas ferrovias de carga	Representa a quantidade de locomotivas operacionais em uso pelas concessionárias federais. Trata-se de um indicador da capacidade operacional e da disponibilidade dos ativos do sistema ferroviário.	ANTF
V₈ - Número de vagões de carga em uso nas ferrovias	Refere-se ao total de vagões de carga em operação, considerando diferentes tipos. Essa variável está associada à capacidade de transporte, à flexibilidade operacional e à diversidade de cargas atendidas.	ANTF
V₉ - Índice setorial de segurança operacional	Expressa o nível de segurança das operações ferroviárias, medido pela razão entre o número de acidentes e a distância percorrida pelos trens (acidentes por milhão de trens·km). Essa variável reflete a confiabilidade e a maturidade operacional do sistema.	ANTT
V₁₀ - Volume da safra de grãos no Brasil	Corresponde à produção total anual de grãos, geralmente medida em toneladas. Assim como a mineração, o agronegócio é um dos principais demandantes do transporte ferroviário, influenciando diretamente o volume e a direção dos fluxos logísticos.	Conab

Fonte: os autores.

4.4. Análise SWOT do Sistema

4.4.1 Forças

- Alta eficiência energética e menor custo por tonelada-quilômetro em longas distâncias, especialmente no transporte de commodities;
- Vocação natural para cargas pesadas e volumosas (minério, grãos e combustíveis), com corredores logísticos já consolidados;
- Ganhos contínuos em segurança operacional nas ferrovias concedidas, evidenciados pela redução histórica dos índices de acidentes;
- Menores emissões de gases de efeito estufa em comparação ao modal rodoviário, alinhando-se a diretrizes ESG e metas de descarbonização; e
- Experiência institucional acumulada em modelos de concessão e em estruturas regulatórias já estabelecidas.

4.4.2 Fraquezas

- Malha ferroviária reduzida em relação à dimensão territorial do país, com baixa capilaridade e presença de vazios logísticos;
- Fragmentação técnica e operacional, incluindo diferentes bitolas e gargalos em pátios, terminais e interfaces intermodais;
- Elevada dependência de poucos produtos, especialmente minério e agronegócio, aumentando a exposição a ciclos de commodities; e
- Deficiências de manutenção e de modernização em trechos legados, que limitam a velocidade média e a confiabilidade operacional.

4.4.3 Oportunidades

- Expansão projetada do agronegócio e da mineração no médio e longo prazo, ampliando a demanda por transporte ferroviário de longa distância;
- Programas públicos e privados de expansão da infraestrutura, incluindo autorizações ferroviárias, novas concessões, PAC e debêntures incentivadas;
- Pressão global por cadeias logísticas de baixo carbono, favorecendo a migração de cargas do modal rodoviário para o ferroviário; e
- Desenvolvimento de novos corredores e mercados logísticos, como o Arco Norte, ampliando a integração territorial e a competitividade do setor.

4.4.4 Ameaças

- Volatilidade dos preços internacionais de commodities, com risco de retração da demanda por transporte ferroviário;
- Instabilidade regulatória e jurídica, associada a revisões contratuais, judicializações e mudanças de orientação governamental;
- Competição crescente do modal rodoviário, impulsionada por avanços tecnológicos, combustíveis alternativos e investimentos viários;
- Entraves ambientais e complexidade nos processos de licenciamento para novos projetos ferroviários; e
- Intensificação de eventos climáticos extremos, como enchentes, erosão e ondas de calor, que afetam a infraestrutura ferroviária.

4.5. Elicitação das Incertezas

A partir do conjunto de variáveis identificado na Seção 4.3, procedeu-se à análise de seu comportamento futuro no horizonte de 2035, buscando identificar aquelas caracterizadas por alto grau de incerteza e elevada relevância sistêmica. Variáveis com tendência histórica relativamente estável foram tratadas como fatores de contexto, enquanto aquelas fortemente dependentes de decisões políticas, econômicas, regulatórias ou de mercado foram convertidas em incertezas candidatas.

As principais incertezas identificadas são apresentadas a seguir:

- **Nível de investimento anual em infraestrutura ferroviária:** incerteza relacionada à continuidade e à intensidade dos investimentos públicos e privados destinados à expansão da malha, modernização tecnológica e aquisição de material rodante;
- **Ritmo de expansão da malha ferroviária em operação:** incerteza quanto à efetiva implantação de novos trechos ferroviários por meio de concessões, autorizações e execução de obras;
- **Crescimento da demanda por transporte ferroviário de cargas:** incerteza associada à evolução do volume transportado, influenciada pelo desempenho do agronegócio, da mineração e da indústria;
- **Dependência do sistema ferroviário de commodities específicas:** incerteza referente ao grau de diversificação das cargas transportadas, especialmente em relação a minério e grãos;
- **Evolução dos custos do transporte ferroviário:** incerteza ligada aos custos operacionais e logísticos, condicionados por ganhos de eficiência, escala e inovação tecnológica;
- **Capacidade operacional do sistema ferroviário:** incerteza associada à disponibilidade e à utilização eficiente de locomotivas, vagões e demais ativos ferroviários;
- **Nível de segurança operacional das ferrovias:** incerteza relacionada à evolução dos índices de acidentes, dependente de investimentos em manutenção, tecnologia e gestão operacional;
- **Estabilidade do ambiente regulatório e institucional:** incerteza quanto à previsibilidade das regras de concessão, autorizações e contratos, bem como à coordenação entre os agentes públicos e privados; e

- **Evolução da produção de commodities agrícolas e minerais:** incerteza associada ao comportamento futuro da produção, influenciada por fatores climáticos, econômicos e geopolíticos.

4.6. Seleção das Variáveis Relevantes

A Tabela 2 apresenta a matriz de impacto cruzado entre as variáveis do sistema ferroviário brasileiro, evidenciando o grau de influência direta entre elas. A matriz permite identificar variáveis mais influentes e mais dependentes, subsidiando a seleção das variáveis relevantes para a construção de cenários prospectivos.

Tabela 2 – Matriz de Impacto Cruzado

	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7	V_8	V_9	V_{10}	$\sum Impacto$
V_1 (Minério produzido)	X	0	3	0	1	2	0	0	1	0	7
V_2 (Custo transporte)	1	X	2	0	1	3	0	0	0	1	8
V_3 (Carga movimentada)	0	0	X	1	1	3	3	3	3	0	14
V_4 (Malha ferroviária)	0	2	3	X	0	2	1	1	0	1	10
V_5 (Investimento)	0	2	2	3	X	2	3	3	3	0	18
V_6 (Participação)	0	2	1	1	2	X	0	0	0	0	6
V_7 (Locomotiva)	0	1	2	0	0	1	X	3	2	0	9
V_8 (Vagões)	0	1	2	0	0	1	2	X	2	0	8
V_9 (Segurança)	0	1	1	0	1	1	1	1	X	0	6
V_{10} (Safr de grãos)	0	0	3	0	1	2	0	0	0	X	6
<i>Itálico</i> $Soma \sum Dependên$	1	9	19	5	7	17	10	11	11	2	X

Fonte: os autores.

A Tabela 3 apresenta a escala adotada para mensurar o grau de influência direta entre as variáveis na matriz de impacto cruzado, que varia de 0 a 3.

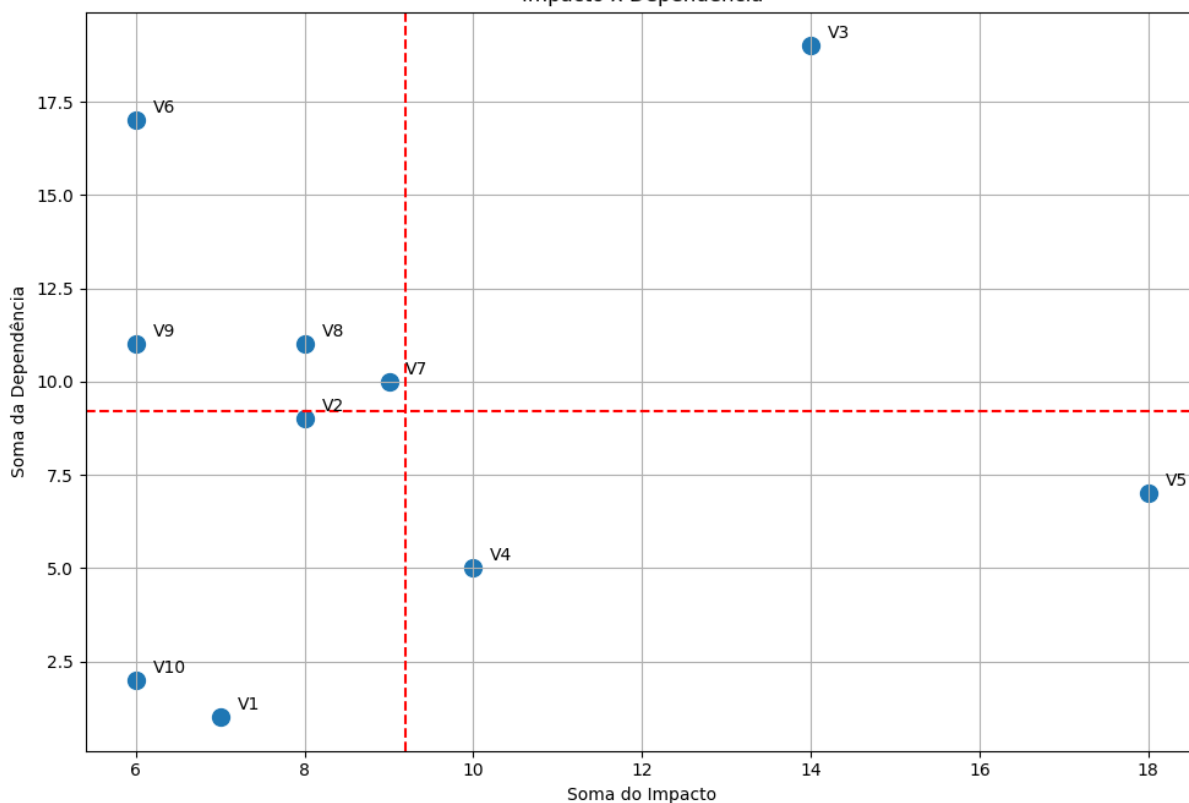
Tabela 3 – Graus de Influência

Grau de Influência	Significado
0	Ausência de influência
1	Influência fraca
2	Influência moderada
3	Influência forte

Fonte: os autores.

A Figura 1 evidencia as variáveis em função de seus níveis de impacto e de dependência. Observa-se que V_1 e V_{10} apresentam baixos valores em ambas as dimensões, estando abaixo das médias de impacto e de dependência (linhas vermelhas), o que as elas como variáveis autônomas, com influência limitada sobre o sistema, razão pela qual foram excluídas das etapas subsequentes da análise.

Figura 1 – Gráfico Impacto x Dependência
Impacto x Dependência



Fonte: os autores.

4.7. Definição dos Indicadores Chave

Os indicadores foram definidos em termos relativos, expressos como a razão entre os valores projetados para 2035 e os observados em 2025. Essa abordagem permite comparar variáveis heterogêneas de forma padronizada, facilitando a distinção entre cenários pessimista, tendência e otimista conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Indicadores

Variável	Indicador	S1	S2	S3
V ₂	Custo de transporte ferroviário (R\$/ton)	≤0.90	]0.90, 1.05[	≥0.90
V ₃	Quantidade total de cargas movimentadas (TKU/ano).	≤1.05	]1.05, 1.25[	≥1.25
V ₄	Comprimento total da malha ferroviária em operação (km)	≤1.02	]1.02, 1.08[	≥1.08
V ₅	Investimento anual em infraestrutura ferroviária (bi R\$/ano)	≤1.00	]1.00, 1.40[	≥1.40
V ₆	Participação das ferrovias na matriz nacional de transporte de cargas (% em TKU)	≤1.03	]1.03, 1.15[	≥1.15
V ₇	Número de locomotivas em serviço	≤1.05	]1.05, 1.20[	≥1.20
V ₈	Número de vagões de carga em uso	≤1.08	]1.08, 1.30[	≥1.30
V ₉	Índice setorial de segurança operacional (acidentes/10 ⁶ trem·km)	≤0.80	]0.80, 1.00[	≥1.00
		Otimista	Tendência	Pessimista

Fonte: os autores.

4.8. Elaboração dos Cenários Prospectivos

Com base na definição dos indicadores-chave e de seus respectivos intervalos, foram elaborados três cenários prospectivos para o desenvolvimento do modal ferroviário brasileiro no horizonte de 2035.

- **Expansão Integrada:** Este cenário caracteriza-se por uma trajetória fortemente positiva do setor ferroviário. Reduções expressivas nos custos de transporte decorrem de ganhos tecnológicos, de economias de escala e de contratos de longo prazo. A movimentação de cargas cresce robustamente, sustentada pela expansão acelerada da malha ferroviária e por elevados investimentos em infraestrutura. A renovação e a ampliação da frota de locomotivas e vagões aumentam a capacidade operacional, reduzindo os gargalos logísticos. Como resultado, a participação das ferrovias na matriz nacional de transporte de cargas se amplia de forma consistente, enquanto melhorias sistêmicas elevam significativamente os níveis de segurança e de confiabilidade operacional.
- **Eficiência Moderada:** Neste cenário, observa-se uma evolução gradual do setor. Os custos de transporte ferroviário permanecem relativamente estáveis, acompanhando as condições macroeconômicas. A movimentação de cargas cresce de forma contínua, impulsionada principalmente pelo agronegócio e pela mineração. A expansão da malha ocorre de forma incremental, em consonância com o ritmo dos investimentos públicos e privados. A frota ferroviária passa por renovação parcial, o que permite ganhos marginais de eficiência. A participação das ferrovias na matriz de transportes avança lentamente, enquanto políticas e programas operacionais mantêm os índices de segurança em patamares aceitáveis.
- **Estagnação Operacional:** O cenário de estagnação indica um contexto adverso. A demanda por transporte ferroviário cresce pouco, ao passo que os custos logísticos aumentam devido à elevação dos preços da energia e da manutenção. A malha ferroviária permanece praticamente inalterada, com investimentos reduzidos e sucessivos adiamentos de projetos estruturantes. A frota envelhecida compromete a produtividade e a confiabilidade do sistema. Consequentemente, a participação ferroviária na matriz nacional recua levemente, enquanto os índices de segurança se deterioram, elevando os riscos operacionais.

5. Considerações Finais

O desenvolvimento do modal ferroviário brasileiro apresenta-se como um tema estratégico para a competitividade logística, a sustentabilidade ambiental e a redução dos custos de transporte no país. Contudo, trata-se de um sistema marcado por elevada complexidade, investimentos de longo prazo, múltiplos atores institucionais e níveis significativos de incerteza, o que dificulta o planejamento tradicional orientado apenas por projeções lineares.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho (construir cenários prospectivos para o desenvolvimento do modal ferroviário brasileiro no horizonte de 2035 por meio da aplicação do Método Momentum) foi plenamente alcançado. Como principal resultado, foram elaborados três cenários prospectivos (Expansão Integrada, Eficiência Moderada e Estagnação Operacional) que sintetizam combinações plausíveis de evolução do sistema ferroviário brasileiro. Esses cenários não devem ser interpretados como previsões, mas como instrumentos analíticos que ampliam a compreensão dos riscos, oportunidades e condicionantes estruturais do setor, apoiando o planejamento estratégico e a formulação de políticas públicas mais robustas.

O Método Momentum demonstrou-se adequado para a construção de cenários prospectivos em sistemas de infraestrutura, ao integrar análise sistêmica e tratamento explícito das incertezas. Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se avançar para as etapas subsequentes do método, incorporando técnicas de Apoio Multicritério à Decisão, bem como aprofundar a análise regional ou modal, ampliando o potencial de aplicação prática dos cenários elaborados.



REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (ANTT). **A ANTT**, 2025. Disponível em: <<https://www.gov.br/antt/pt-br/a-antt>>. Acesso em: 14 nov. 2025.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTE FERROVIÁRIO - ANTF. **História das Ferrovias**, 2024. Disponível em: <<https://www.antf.org.br/boletim-antf/historia-das-ferrovias/>>. Acesso em: 13 nov. 2025.

CORDOVA-POZO, K.; ROUWETTE, E. A. J. A. **Types of Scenario Planning and Their Effectiveness: A Review of Reviews**. *Futures*, v. 149, 2023.

COSSUTTA, M. *et al.* **A Comparative Life Cycle Assessment of Graphene and Activated Carbon in a Supercapacitor Application**. *Journal of Cleaner Production*, v. 242, 2020.

DELBECQ, S. *et al.* **Sustainable Aviation in the Context of the Paris Agreement: A Review of Prospective Scenarios and Their Technological Mitigation Levers**. *Progress in Aerospace Sciences*, v. 141, 2023.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **Infraestrutura Ferroviária**, 2025. Disponível em: <<https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/ferrovias>>. Acesso em: 11 nov. 2025.

DREI, S. M. *et al.* **An Approach of the Momentum Method for Prospective Scenarios of Brazilian Tourism Post-Covid-19**. *Journal of Futures Studies*, v. 27, n. 4, p. 43–63, 2023.

FARIAS, P. I. V *et al.* **The Fertilizer Industry in Brazil and the Assurance of Inputs for Biofuels Production: Prospective Scenarios after Covid-19**. *Sustainability (Switzerland)*, v. 12, n. 21, p. 1–16, 2020.

GOMES, C. F.; COSTA, H. G. **Proposta do Uso da Visão Prospectiva no Processo Multicritério de Decisão**. *Relatórios de Pesquisa em Engenharia de Produção (UFF)*, v. 13, p. 94–114, 1 jan. 2013.

INDRAJAYANTHAN, V. *et al.* **Investigation on Current and Prospective Energy Transition Scenarios in Indian Landscape Using Integrated SWOT-MCDA Methodology**. *Sustainability (Switzerland)*, v. 14, n. 9, 2022.

INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL - IPHAN. **História das Ferrovias no Brasil**, 2014. Disponível em: <<https://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/609>>. Acesso em: 11 nov. 2025.

JUNIOR, E. L. P. *et al.* **Tourism Development in the city of Rio de Janeiro: Application of Prospective Scenario with the Momentum Method**. (Y. Shi, Ed.) Em: *Procedia Computer Science*, Anais...Elsevier B.V., 2023.

LEMES DE OLIVEIRA, F.; MAHMOUD, I. **Desirable Futures: Human-Nature Relationships in Urban Planning and Design**. *Futures*, v. 163, 2024.



MELLEM, P. M. N. *et al.* **Prospective scenarios applied in course portfolio management: An approach in light of the Momentum and ELECTRE-MOr methods.** (Y. Liu et al., Eds.) Em: *Procedia Computer Science*, Anais...Elsevier B.V., 2021.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. **Ferrovias**, 2025. Disponível em: <<https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/concessoes/ferrovias>>. Acesso em: 11 nov. 2025.

OLIVEIRA, A. S. *et al.* **Prospective Scenarios: A Literature Review on the Scopus Database.** *Futures*, v. 100, p. 20–33, 2018.

OLIVEIRA, A. S. *et al.* **Multiple Criteria Decision Making and Prospective Scenarios Model for Selection of Companies to Be Incubated.** *Algorithms*, v. 14, n. 4, 2021.

OSTERMANN, M. *et al.* **Integrating Prospective Scenarios in Life Cycle Engineering: Case Study of Lightweight Structures.** *Energies*, v. 16, n. 8, 2023.

PEREIRA, D. A. D. M. *et al.* **Construction of Prospective Scenarios through the MOMENTUM Method: a case study on Federal Highways in Brazil.** (Y. Shi, Ed.) Em: *Procedia Computer Science*, C, Anais...Elsevier B.V., 2022.

RADLOFF, R.; ABDELSHAFY, A.; WALTHER, G. **An Integrative and Prospective Approach to Regional Material Flow Analysis: Modeling the Decarbonization of the North Rhine-Westphalian Steel Industry.** *Journal of Industrial Ecology*, v. 27, n. 3, p. 662–675, 2023.

RODRIGUES, M. V. G. *et al.* **Prospective Scenarios Analysis: Impact on Demand for Oil and Its Derivatives after the COVID-19 Pandemic.** *Brazilian Journal of Operations and Production Management*, v. 18, n. 2, 2021.