METODOLOGIA

DE CONSTRUÇÃO DO SISTEMA DE INDICADORES

Etapa diagnóstico

METODOLOGIA DE CONSTRUÇÃO DO SISTEMA DE INDICADORES

Ministério dos Transportes

Secretaria-Executiva

Subsecretaria de Fomento e Planejamento

Autor

Coordenação-Geral de Instrumentos de Planejamento (CGIP)

METODOLOGIA DE CONSTRUÇÃO DO SISTEMA DE INDICADORES DO PLANO NACIONAL DE LOGÍSTICA 2050
ETAPA DIAGNÓSTICO

INTRODUÇÃO 4

ASPECTOS ESTRATÉGICOS DO PIT E SISTEMA DE INDICADORES 4

SUSTENTABILIDADE 7

MATRIZ RACIONAL 9

ACESSIBILIDADE 11

DESENVOLVIMENTO SOCIAL 15

DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO 16

INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL 18

EFICIÊNCIA E CONFIABILIDADE 20

SEGURANÇA OPERACIONAL 22

CONCLUSÃO 23

INTRODUÇÃO

O presente documento tem a finalidade de descrever a metodologia de construção do sistema de indicadores utilizados na etapa diagnóstico do Plano Nacional de Logística (PNL) 2050, instrumento do Planejamento Integrado de Transportes (PIT), instituído pelo Decreto 12.022, de 16 de maio de 2024 no âmbito do Planejamento Integrado de Transportes (PIT), instituído pelo Decreto 12.022, de 16 de maio de 2024.

ASPECTOS ESTRATÉGICOS DO PIT E SISTEMA DE INDICADORES

Antes de descrever a construção dos indicadores em si, é necessário introduzir a fundamentação normativa usada como referência metodológica.

A Resolução nº 5 do Comitê de Governança do PIT (CGPIT), de 04 de dezembro de 2024, estabeleceu os aspectos estratégicos do PIT, que servem de base para a definição das dimensões a serem cobertas pelos indicadores.

Esses aspectos estratégicos estão definidos abaixo:

Figura 1: Aspectos estratégicos da visão do Planejamento Integrado de Transportes

A Resolução nº 7 do CGPIT, de 17 de dezembro de 2024, definiu a primeira parte das diretrizes metodológicas do PNL 2050, incluindo as referentes ao sistema de indicadores. A esse respeito, foi especificado que:

a) A elaboração dos indicadores deve ser feita para três grupos de análise distintos: corredores de exportação, mercado doméstico e transporte de pessoas;
b) Os indicadores devem ser computados a nível geral, para todo o sistema de transportes, e regional, desagregando o sistema nas macrorregiões do país.

Portanto, para cada aspecto estratégico, foi pensado um conjunto de indicadores que consiga representar as suas dimensões. Esses indicadores foram computados para o sistema de transportes como um todo e para os subsistemas dos corredores de exportação e doméstico, em um primeiro momento, sendo os indicadores de transporte de pessoas detalhado em nota técnica posterior.

Além disso, os resultados foram desagregados regionalmente, incluindo aberturas regionais para os indicadores. A fim de evitar uma notação muito pesada, os indicadores serão apresentados da seguinte forma, exceto se expresso o contrário: $\beta_{i,r,c}$, em que i é o número do indicador, r é a sua abertura regional (Brasil, Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste ou Sul) e c é a sua abertura por corredor (sistema como um todo, exportação ou mercado doméstico), devendo depreender-se que as variáveis que o compõem são calculadas com os recortes adequados de regiões e corredores.

Além disso, o sistema de indicadores foi pensado para depender de resultados da alocação das matrizes origem-destino na rede de transportes, feita na etapa insumos do PIT, de forma que eles podem ser computados para o cenário-meta, permitindo uma comparação objetiva das melhorias projetadas pelo PNL 2050 em relação ao cenário-base do plano.

Por fim, os indicadores foram pensados de forma a não aumentarem ou diminuírem mecanicamente no cenário-meta. Portanto, a melhoria em relação ao cenário-base só ocorre mediante escolhas que estejam alinhadas com as prioridades estabelecidas pelos aspectos estratégicos.

SUSTENTABILIDADE

O aspecto estratégico de sustentabilidade foi resumido em 6 indicadores, apresentados abaixo.

As **emissões relativas de gases de efeito estufa,** expressas em quilogramas de CO2 por tonelada quilômetro útil (kg de CO2 equivalente/TKU), visam captar parte dos impactos do sistema de transporte sobre a mudança do clima. Para calcular esse indicador, foi utilizada como referência o relatório "Metodologia EPL-IEMA para emissões de GEE e poluentes locais", que estima fatores de emissão por modo e grupo de carga. Esses fatores são função do volume transportado em cada via. Assim, tendo os resultados da alocação, é possível computar as emissões totais para cada via que apresentou carregamento. Esse valor é então dividido pelo TKU total, resultando no indicador $\beta_{1,r,c}$. Em termos de formulação, seu cálculo pode ser expresso como:

$$\beta_{1,r,c} := \frac{\sum_{j \in J} \mathrm{GEE}_j}{\sum_{j \in J} \mathrm{TKU}_j}$$

Em que J é o conjunto de links na rede de transporte e GEE representa emissões de gases de efeito estufa em CO2-equivalente.

> **Intuição:** esse indicador depende dos fatores de emissão e das toneladas transportadas no sistema. Assim, é possível aumentar as toneladas totais transportadas no sistema mais do que proporcionalmente às emissões (por exemplo, com o investimento em modos que emitem menos), o que implicaria em uma redução do indicador no cenário-meta.

A **proporção da malha com área de influência interceptando áreas de proteção integral**, expressa em porcentagem da extensão total da malha (% km), capturam uma parcela do efeito do sistema de transportes sobre dimensões socioambientais e uso do solo. Para cada infraestrutura, foi definido um *buffer* de 3km, seguindo a Resolução nº 473 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama), de 11 de dezembro de 2015, que estabelece no §2º do seu art. 1º:

Art. 1º. [...]

§1º [...]

*§2º. Durante o prazo de 5 anos, contados a partir da publicação da Resolução nº 473, de 11 de dezembro de 2015, o licenciamento de empreendimento de significativo impacto ambiental, localizados numa faixa de **3 mil metros** a partir do limite da UC, cuja ZA não esteja estabelecida, sujeitar-se-á ao procedimento previsto no caput, com exceção de RPPNs, Áreas de Proteção Ambiental (APAs) e Áreas Urbanas Consolidadas.*

Com o *buffer* definido, foram utilizados shapefiles das áreas de proteção ambiental para verificar a extensão de cada link que tinha área de influência interceptando-as. A extensão desses links foi calculada e dividida pela extensão total da malha, resultando no indicador. Em termos formais, esse indicador pode ser calculado como:

$$\beta_{2,r} := \frac{\sum_{j \in J} s_j \cdot \mathrm{km}_j}{\sum_{j \in J} \mathrm{km}_j}$$

Em que s_j é a fração do link j da rede que tem área de influência interceptando alguma área de proteção ambiental.

> **Intuição:** esse indicador depende da extensão total da rede de transportes e da proximidade dessa rede com relação a áreas de proteção ambiental. Portanto, é possível aumentar a extensão da rede por meio de empreendimentos que não estejam próximos de áreas de proteção ambiental, reduzindo o valor do indicador para o cenário-meta.

Os indicadores de **proporção da malha com área de influência interceptando áreas de uso sustentável** ($\beta_{3,r}$), **com potencial espeológico** ($\beta_{4,r}$), **terras indígenas** ($\beta_{5,r}$) e **terras quilombolas** ($\beta_{6,r}$) usam uma metodologia de construção similar ao indicador acima, com as particularidades abaixo:

a) Para áreas de proteção integral e áreas de uso sustentável, também foi usada uma área de influência de 3k, com base na Resolução Conama nº 473, de 11 de dezembro de 2015, assim como para as áreas de proteção ambiental;

b) Para terras indígenas e terras quilombolas, a área de influência seguiu o disposto no Anexo I da Portaria Interministerial 60, de 24 de março de 2015, que estabeleceu áreas de influência de 10km, 40km e 10km, para ferrovias, rodovias e portos, respectivamente, quando dentro da Amazônia Legal, e 5km, 10km e 8km, quando fora da Amazônia Legal;

c) Para áreas com potencial espeológico, utilizou-se a área de influência de 250m, conforme disposto no §3º do art. 4º da Resolução Conama nº 347, de 10 de setembro de 2004:

Art. 4º. [...]

§1º [...]

§2º A área de influência sobre o patrimônio espeleológico será definida pelo órgão ambiental competente que poderá, para tanto, exigir estudos específicos, às expensas do empreendedor.

§3º Até que se efetive o previsto no parágrafo anterior, a área de influência das cavidades naturais subterrâneas será a projeção horizontal da caverna acrescida de um entorno de ***duzentos e cinquenta metros****, em forma de poligonal convexa.*

MATRIZ RACIONAL

O aspecto estratégico matriz racional foi resumido em 6 indicadores, apresentados abaixo.

O **número de portos com serviço de cabotagem** ($\beta_{7,r}$), expresso em unidades, apresenta um diagnóstico de quais portos estão efetivamente operando com intermodalidade em relação a modos de alta capacidade. Por meio dos atributos da rede de simulação, são identificados os nós relacionados a portos organizados. Por meio dos dados da alocação, verifica-se se há fluxo positivo de carregamento chegando no porto por cabotagem. Computa-se então esse total de portos, dividindo esse valor pelo total de portos. Esse indicador pode ser representado como:

$$\beta_{7,r} \coloneqq \frac{n_{cb,p}}{n_p}$$

Em que $n_{cb,p}$ é o número de portos com carregamento positivo de cabotagem e n_p é o número total de portos.

> **Intuição:** de forma a melhorar esse indicador, busca-se aumentar o número de portos que efetivamente movimentam fluxos de cabotagem no cenário-meta em relação ao cenário-base. Entretanto, aumentar o número de portos sem que eles movimentem fluxos de cabotagem penaliza o indicador.

Os indicadores de **número de portos com acesso ferroviário** ($\beta_{8,r,c}$) **e eclusas em operação** ($\beta_{12,r}$) seguem metodologia de cálculo e intuição similar ao indicador acima.

A **proporção da malha ferroviária não utilizada** (β_{10}), expressa em porcentagem da extensão total da malha (% km), dimensiona a magnitude do custo de oportunidade que de se ter uma infraestrutura de alta capacidade instalada e não utilizada. Para esse cálculo, identifica-se a fração dos links da rede de simulação que estão associados a ferrovias e que apresentam carregamento positivo. A extensão desses links é então somada e dividida pela extensão total da malha ferroviária. A fórmula do indicador é a que segue:

$$\beta_{10} \coloneqq \frac{\sum_{j \in J_f} \mathrm{c}_j \cdot \mathrm{km}_j}{\sum_{j \in J_f} \mathrm{km}_j}$$

Em que J_f é o conjunto de links ferroviários e c_j é a fração do link j que apresenta carregamento positivo.

> **Intuição:** esse indicador aumenta se a malha ferroviária for melhor aproveitada no cenário-meta em relação ao cenário-base. Assim, aumentar a malha ferroviária sem que essa seja economicamente utilizada nas simulações do futuro penaliza o indicador.

A **proporção da malha hidroviária economicamente navegável** ($\beta_{9,r}$) segue a mesma lógica de cálculo e intuição do indicador acima.

A **proporção dos modos por grupo de carga** ($\beta_{11,r,c,g,modo}$), expressa em porcentagem do TKU (% do TKU), procura mensurar a dependência do sistema de transportes de modos de alta e baixa capacidade. A abertura por grupo de carga possibilita visualizar heterogeneidades adicionais, destacando dependências de modos de baixa capacidade que podem aparecer para produtos específicos. Para calcular esse indicador, primeiro foi computado o total do TKU para cada modo e grupo de carga. Esse valor foi então dividido pelo valor total do TKU para cada grupo de carga. Formalmente:

$$\beta_{11,r,c,g,modo} := \frac{\sum_{j \in J_{\text{modo}}} \text{TKU}_j}{\sum_{j \in \text{J}} \text{TKU}_j}$$

Em que J_{modo} é o conjunto de links de um determinado modo.

> **Intuição:** considerando que o TKU total por grupo de carga é comum para todos os modos, esse indicador apresenta melhorias no cenário-meta em relação ao cenário-base quando se aumenta a dependência de modos de alta capacidade.

ACESSIBILIDADE

O aspecto estratégico de acessibilidade foi representado por 4 indicadores, detalhados abaixo.

A **distância média até os acessos mais próximos dos corredores** ($\beta_{13,r}$), expressa em quilômetros (km), mede o quão próximo um centro produtor está do acesso à malha estratégica, representada pelos corredores. Nesse caso, as toneladas totais produzidas e vendidas por um município são separados entre exportação e mercado doméstico, com base na proporção dos fluxos das matrizes origem-destino que são destinados ao mercado brasileiro e ao resto do mundo. Para cada município, é

computada uma distância média entre ele e os acessos mais próximos dos dois corredores[1]. A esse município, é associada uma distância média, ponderada pelas porcentagens das pautas de exportação e doméstica dele. Por fim, é calculada uma média dessa distância entre municípios, ponderada pelas toneladas totais produzidas pelo município, de forma a penalizar o indicador caso um grande centro produtor esteja distante de um corredor. Em termos formais:

$$\beta_{13,r} \coloneqq \frac{\sum_{m \in M} t_m \cdot \left[\left(1 - s_{m,e}\right) \cdot d_{m,br} + s_{m,e} \cdot d_{m,e}\right]}{n_m}$$

Em que M é o conjunto de municípios, $s_{m,e}$ é a fração da pauta de exportação do município m, $d_{m,e}$ é a distância ao acesso mais próximo do corredor de exportação, $d_{m,br}$ é a distância entre ele e o acesso mais próximo do corredor doméstico e t_m são as toneladas produzidas no município m. Como esse indicador é uma média entre as distâncias de acesso aos dois corredores, ele não é computado na dimensão r.

> **Intuição:** esse indicador depende da pauta de comércio do município e da distância que esse município está dos corredores. Assim, esse indicador varia de acordo com as projeções das produções dos municípios entre o cenário-base e o cenário-meta, que são afetadas pelos motivos apresentados na Nota Técnica 6 (SEI nº 9563207), cuja definição não dependeu diretamente das intervenções que vão ser pensadas no PNL 2050. Portanto, para impactar o valor do indicador positivamente, é necessário aproximar os municípios da malha estratégica, reduzindo a distância de acesso a pelo menos um dos corredores. Esse indicador também penaliza grandes centros produtores que estão distantes dos corredores.

A **proporção das toneladas fora da área de influência de transbordos ferroviários ou aquaviários** ($\beta_{14,r}$), expressa em porcentagem das toneladas totais (%

[1] Essa distância é calculada considerando a menor rota entre o município e corredor, utilizando a rede de transportes existente.

das toneladas) indica a fração da produção das matrizes origem-destino que está distante de transbordos ferroviários ou aquaviários. A ideia desse indicador é indicar o quão próximo municípios produtores estão de acessar modos que podem transportar as suas cargas de forma mais eficiente. Para calculá-lo, primeiro foram identificados os municípios que possuem transbordos ferroviários ou aquaviários. Então, para cada município, verificou-se se ele estava dentro ou fora da área de influência de transbordos. Por fim, foi calculada a representatividade desses municípios em relação à produção total, dividindo as toneladas produzidas por eles pelas toneladas totais das matrizes origem-destino. Formalmente:

$$\beta_{14,r} := \frac{\sum_{m \in M_{f,a}} t_m}{\sum_{m \in M} t_m}$$

Em que $M_{f,a}$ é o conjunto de municípios na área de influência de transbordos ferroviários e aquaviários.

> **Intuição:** esse indicador depende das projeções das produções dos municípios entre o cenário-base e o cenário-meta, assim como o indicador acima. Assim, para impactar o valor desse indicador, deve-se aproximar municípios produtores de acessos a modos de alta capacidade, representado pelos transbordos ferroviário ou aquaviário. Esse indicador também penaliza grandes centros produtores que estão distantes de acessos a modos de alta capacidade.

A **proporção da população não atendida por rodovias pavimentadas ou terminais aquaviários** ($\beta_{15,r}$), expressa em porcentagem da população (% da população), mede o nível de acesso da população a condições dignas de transporte. Para tanto, verificou-se, para cada município, se ele é interceptado por uma rodovia pavimentada ou se possui um terminal de transporte aquaviário. Soma-se a população total dos municípios que atendem essa condição, dividindo esse valor pela população total do país para chegar na proporção. Esse indicador pode ser expresso pela seguinte fórmula:

$$\beta_{15,r} := \frac{p_{r,a}}{p}$$

Em que $p_{r,a}$ é a população atendida por condições dignas de transporte e p é a população total do país.

> **Intuição:** esse indicador apresenta melhoria se mais municípios forem atendidos por vias pavimentadas ou por terminais de transporte aquaviário. Além disso, esse indicador penaliza municípios relativamente populosos que não são atendidos por condições dignas de transporte.

A **distância média de acesso a serviços essenciais** ($\beta_{16,r}$), expressa em quilômetros (km), mensura o quão difícil é o acesso dos municípios a determinados grupos de serviços. Para calcular esse indicador, utilizou-se a Região de Influência das Cidades (REGIC) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para identificar municípios que possuem os maiores níveis de oferta (centralidades) para as seguintes categorias de serviços:

a) Gestão do território;
b) Gestão empresarial;
c) Gestão pública;
d) Atividades financeiras;
e) Ensino de graduação e pós-graduação;
f) Serviços de saúde;
g) Redes de televisão.

Uma vez fixados esses municípios, foi calculada a distância de cada município do Brasil ao município mais próximo com centralidade elevada para um serviço essencial específico[2]. Com base nesse valor, definiu-se a distância média de um município como a média das distâncias entre as categorias de serviços. Por fim, foi computada uma média entre municípios. Em termos formais, esse indicador pode ser expresso como:

[2] Novamente foi utilizada a distância dada pela menor rota na rede de simulação.

$$\beta_{16,r} := \frac{\sum_{m \in M} \sum_{c \in C} \underline{d_{m,c}}}{7 n_m}$$

Em que C é o conjunto das 7 categorias de serviços e $\underline{d_{m,c}}$ é a menor distância entre o município m e o município mais próximo com elevada centralidade para a categoria de serviços C.

> **Intuição:** esse indicador depende do quão distantes estão os municípios de centralidades que ofertam serviços essenciais. Como a distância é calculada com base na rede de simulação, para melhorar esse indicador no cenário-meta em relação ao cenário-base, é necessário pensar em intervenções que consigam aproximar, em termos de deslocamento, municípios isolados das centralidades mais próximas deles.

DESENVOLVIMENTO SOCIAL

O aspecto estratégico de desenvolvimento social foi expresso por meio de 2 indicadores, que foram selecionados por representarem impactos do sistema de transporte sobre desfechos sociais mensuráveis pelo modelo de equilíbrio geral computável elaborado no âmbito do TED com a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), documentado no Processo nº 50000.029933/2024-32, permitindo que eles também sejam computados para o cenário-meta. Esses indicadores refletem ganhos sociais induzidos pelo sistema de transportes.

A **desigualdade de renda das Unidades da Federação** (β_{17}), adimensional, foi computada a partir do índice de Gini, sendo, portanto, uma medida de desigualdade regional. Pela própria definição de desigualdade regional, esse indicador é computado apenas para o Brasil, sem aberturas em corredor ou região.

O **rendimento médio do trabalho** ($\beta_{20,r}$), expresso em reais (R$), foi computado a partir dos dados da Pesquisa Nacional de Amostra de Domicílios (PNAD) anual de

2023[3] do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e é uma medida do poder aquisitivo da população no cenário-base. Por ser um recorte social, não faz sentido computar esse indicador com aberturas de corredor. Seu cálculo pode ser formalizado como:

$$\beta_{20,r} := \frac{\sum_{i \in I} k_i \cdot w_i}{\sum_{i \in I} k_i}$$

Em que I é o conjunto indivíduos entrevistados na PNAD, k_i é o peso amostral desse indivíduo e w_i são os rendimentos do trabalho reportados por esse indivíduo.

> **Intuição:** esse indicador representa o salário médio, ponderado pela representatividade do entrevistado em relação à população do país. Esse ajuste é necessário porque a PNAD é uma pesquisa amostral, de forma que nem toda a população do país é entrevistada e os indivíduos entrevistados são selecionados a fim de serem representativos de um grupo.

DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO

O aspecto estratégico de desenvolvimento econômico foi expresso por meio de 4 indicadores, que foram selecionados por representarem impactos do sistema de transporte sobre desfechos econômicos que também podem ser mensurados modelo de equilíbrio geral computável elaborado no âmbito do TED com a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), permitindo que eles sejam computados para o cenário-meta. Esses indicadores refletem ganhos econômicos induzidos pelo sistema de transportes.

O **Produto Interno Bruto** ($\beta_{18,r}$), expresso em mil reais (R$ mil) representa o valor adicionado pela produção e a renda gerada naquele recorte geográfico, sendo uma medida de atividade econômica. A base de dados utilizada como referência é a de PIB

[3] Foi utilizada a variável VD4020, que reflete o rendimento efetivamente recebido em todos os trabalhos.

municipal 2023, divulgada pelo IBGE. Por ser um recorte econômico, não faz sentido computar esse indicador com aberturas de corredor.

O **nível de emprego** ($\beta_{19,r}$), expresso em porcentagem da população (%), também é uma medida de atividade econômica, refletindo o grau de empregabilidade daquele recorte geográfico. A base de dados utilizada como referência é a PNAD anual de 2023[4] , divulgada pelo IBGE. Assim como o indicador acima, não faz sentido computar o indicador com aberturas de corredor. Formalmente, o indicador pode ser computado como:

$$\beta_{19,r} := \frac{\sum_{i \in I} k_i \cdot 1\{i \in I : i \text{ empregado}\}}{\sum_{i \in I} k_i}$$

Em que $\mathbf{1}\{i \in I : i \text{ empregado}\}$ indica se o indivíduo estava empregado na semana de referência. O uso dos pesos amostrais segue o mesmo raciocínio do indicador de rendimento médio do trabalho.

> **Intuição:** como um indivíduo da PNAD representa um conjunto de indivíduos, primeiro computa-se o número de indivíduos empregados, somando o peso amostral para aqueles que responderam que estão ocupados na semana de referência. Esse valor é então dividido pela população estimada na PNAD, que é simplesmente a soma dos pesos amostrais.

O **consumo das famílias** ($\beta_{22,r}$), expresso em mil reais (R$ mil), é uma medida indireta de bem-estar econômico, derivada do consumo dos indivíduos. Para calcular esse indicador, utilizou-se a Tabela de Recursos e Usos (TRU) do IBGE[5], que possui aberturas regionais. Procedimento similar foi feito para computar o indicador de **investimento privado** ($\beta_{21,r}$), também expresso em mil reais (R$ mil), que mensura o quanto o setor privado está contribuindo para o PIB daquele recorte geográfico.

[4] Foi utilizada como referência a variável VD4002, que verifica a condição de ocupação do indivíduo entrevistado.

[5] A versão mais atual da TUR é de 2018.

INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL

O aspecto estratégico de integração internacional foi representado por 3 indicadores, apresentados abaixo.

O **nível médio de saturação de rodovias de acesso a portos** ($\beta_{23,r,c}$), expresso em porcentagem da capacidade (% da capacidade), visa mensurar o nível de gargalos que aparecem nos acessos portuários feitos pelo modo rodoviário, uma vez que os portos representam a principal forma de exportar ou importar mercadorias no Brasil. Para calcular esse indicador, foram identificados os links rodoviários da rede de simulação que fazem conexão com transbordos aquaviários. As capacidades desses links foram expressas em trimestres e, com base nos dados de notas fiscais eletrônicas e comércio exterior, ajustou-se o seu carregamento, por meio de fatores de sazonalidade[6]. Para cada link, foi calculada a saturação, expressa como a razão entre o volume e a capacidade ajustados, sendo ambos expressos em veículos. Foi então computada uma média ponderada por TKU do link. Em termos formais, esse indicador pode ser expresso como:

$$\beta_{23,r,c} := \frac{\sum_{j \in J} \mathrm{TKU_j} \cdot sat_j}{\sum_{j \in J} \mathrm{TKU_j}}$$

Em que $\mathrm{TKU_j}$ e sat_j são, respectivamente, o TKU e a saturação ajustada do link j. Como esse indicador reflete integração internacional, ele não foi computado para a abertura de corredor doméstico.

> **Intuição:** esse apresenta melhoria quando nível de saturação dos acessos portuários cai. Além disso, por conta da presença do TKU, esse indicador penaliza acessos portuários saturados que apresentam carregamento muito elevado.

[6] O cálculo dos fatores de sazonalidade será detalhado em nota técnica posterior.

O **nível máximo de saturação de rodovias de acesso a portos** ($\beta_{24,r,c}$), expresso em porcentagem da capacidade (%), visa mensurar o maior gargalo dos acessos portuários. Enquanto a média é uma medida de tendência central, o máximo é uma medida de extremo e permite verificar se há pontos críticos nos fluxos das redondezas de portos. Assim como o indicador acima, ele não foi computado com abertura de corredor doméstico.

A **distância média até o aeroporto internacional mais próximo** ($\beta_{25,r}$), expressa em quilômetros (km), mede o nível de acesso da população a aeroportos que possuem serviço de transporte internacional. Para calcular esse indicador, foram identificados os municípios que possuem aeroportos internacionais. Para cada município, calculou-se a distância mínima[7] até o aeroporto internacional mais próximo. Em seguida, computou-se uma média dessa distância entre municípios, ponderada pela população de cada município. Em termos formais:

$$\beta_{25,r,c} \coloneqq \frac{\sum_{m \in M} p_m \cdot \underline{d_{m,\mathrm{ai}}}}{\sum_{m \in M} p_m}$$

Em que p_m é a população do município m e $\underline{d_{m,ai}}$ é a distância mínima até o aeroporto internacional mais próximo.

> **Intuição:** esse indicador varia de acordo com a população dos municípios, cujas projeções para o cenário-meta seguem as projeções populacionais do IBGE e, portanto, não estão sob o controle das variáveis de escolha do PNL 2050. Assim, para melhorar esse indicador em relação ao cenário-base, deve-se reduzir a distância da população a aeroportos internacionais, habilitando aeroportos existentes para esse serviço, criando aeroportos novos ou rotas mais curtas que permitam acessá-los.

[7] Esse cálculo levou em consideração a menor rota da rede de simulação.

EFICIÊNCIA E CONFIABILIDADE

O aspecto estratégico de eficiência e confiabilidade foi resumido em 4 indicadores, apresentados abaixo.

A **proporção de cargas transitando entre ferrovias** ($\beta_{26,r,c}$), expressa em porcentagem do TKU (% do TKU), mensura o nível de interoperabilidade ferroviária. Para calcular esse indicador, foram identificados os pontos de transbordo ferroviário que possuem concessionárias distintas. O carregamento total desse conjunto de transbordos foi somado, resultando na quantidade total de carga que circula entre ferrovias. Esse valor foi transformado em TKU e, em seguida, dividido pelo TKU total de determinado recorte. Em termos formais:

$$\beta_{26,r,c} := \frac{\sum_{j \in J_{tf}} \mathrm{TKU}_j}{\sum_{j \in J_f} \mathrm{TKU}_j}$$

Em que J_{tf} e J_f são, respectivamente, os conjuntos de links de transbordo e ferroviários.

> **Intuição:** considerando um TKU ferroviário dado para um determinado cenário, esse indicador depende apenas da proporção de cargas que de fato transitam entre ferrovias. Assim, para melhorar esse indicador do cenário-base para o cenário-meta, deve-se aumentar o nível de interoperabilidade ferroviária.

A **participação do frete no Produto Interno Bruto** ($\beta_{27,r,c}$), expressa em porcentagem deste último (%), representa a fração total da renda gerada pelas atividades econômicas que é destinada a pagar atividades de frete[8]. Para calcular esse valor, primeiro computou-se o frete total pago, por meio do somatório do valor do frete estimado de cada link. Esse valor é então dividido pelo Produto Interno Bruto, resultando no valor do indicador. Em termos formais:

[8] O detalhamento sobre como foram construídas as estimativas de frete serão detalhadas em nota técnica posterior.

$$\beta_{27,r,c} \coloneqq \frac{\sum_{j \in J} fr_j}{\text{PIB}}$$

Em que fr_j é o frete do link j e PIB é o Produto Interno Bruto do determinado recorte geográfico.

> **Intuição:** esse indicador apresenta melhorias quando a proporção do frete em relação ao PIB cai. A projeção de PIB para o futuro segue as premissas de crescimento da economia detalhadas na Nota Técnica 6 (SEI nº 9563207) e do efeito indutor da infraestrutura sobre a atividade econômica, que será estimada pelo modelo de equilíbrio geral do TED com a UFMG. Assim, o PIB apresenta variação entre o cenário-meta por fatores exógenos ao sistema de transportes, mas também depende do tipo de intervenção que será pensada. Intervenções que tenham maior impacto sobre o PIB podem reduzir o valor desse indicador. Além disso, reduzir o frete total pago pelos embarcadores faz com que o indicador diminua.
>
> **Intuição:** esse indicador melhora quando o frete apresenta redução, considerando um cenário em que o custo de transporte está fixo pela metodologia calculada acima. Assim, iniciativas e empreendimentos que melhorem a competição do setor de transportes e reduzam o frete do cenário-meta em relação ao cenário-base podem gerar melhorias desse indicador.

A **proporção do carregamento transitando em rodovias saturadas** ($\beta_{28,r,c}$), expressa em porcentagem do TKU (% TKU), mensura a dependência do sistema de transportes de rodovias que apresentam elevado nível de saturação. Para identificar as rodovias saturadas, foi utilizado um limiar de 100%. O TKU dessas rodovias foi então computado e dividido pelo TKU total de determinado recorte. Formalmente:

$$\beta_{28,r,c} \coloneqq \frac{\sum_{j \in J_{rs}} \text{TKU}_j}{\sum_{j \in J} \text{TKU}_j}$$

Em que J_{rs} representa o conjunto de links rodoviários saturados.

> **Intuição**: esse indicador apresenta variação entre o cenário-meta e o cenário-base por dois motivos. O primeiro diz respeito aos fluxos que passam por rodovias saturadas em si. O segundo depende do nível de saturação, uma vez que alterar a saturação rodoviária reduz o numerador da razão acima. Assim, para melhorar esse indicador em relação ao cenário-base, deve-se reduzir a saturação rodoviária ou aumentar o carregamento de vias menos saturadas.

O **desvio padrão do frete de um mesmo corredor** ($\beta_{29,r,c}$), expresso em reais (R$), mensura o quanto o frete pago por embarcadores varia ao longo de um mesmo corredor, sendo uma aproximação da existência de redundâncias eficientes para transporte de cargas dentro da malha estratégica do país. O cálculo do indicador é imediato: selecionam-se os links de um determinado corredor e computa-se o desvio padrão, ponderado pelo TKU, a fim de penalizar links relativamente caros que apresentam carregamento elevado.

SEGURANÇA OPERACIONAL

O aspecto estratégico de segurança operacional foi representado por meio de 1 indicador, **índice de acidentes no transporte de cargas** ($\beta_{30,r}$), adimensional. Para calcular esse indicador, foi utilizada a base de dados de acidentes da Polícia Rodoviária Federal (PRF), que acompanha o número de acidentes por tipo de veículo, geometria da via e outras variáveis. Para extrair a contribuição de variáveis de escolha do PNL 2050 sobre o nível de acidentes, elaborou-se o seguinte modelo econométrico:

$$P(yi = 1) = \Phi\left(\alpha_1 \overline{s_i} + \alpha_2 q_i + \sum_{k \in G} \alpha_k \, g_{i,k} + TKU_i + VKU_i\right)$$

Em que y_i é uma variável que assume o valor 1 se uma rodovia i é propensa a acidentes[9] e 0, caso contrário, Φ é a função de distribuição acumulada da normal padrão, $\overline{s_i}$ é o nível médio de saturação da rodovia i, q_i é a qualidade do pavimento dela e TKU_i e VKU_i expressam seus carregamentos totais.

A fim de extrair a contribuição dessas variáveis sobre o nível de acidentes, expurgando outros fatores relacionados, extraiu-se o valor predito do modelo acima. Assim, chega-se em uma base de dados que possui a probabilidade estimada de uma rodovia ser propensa a acidentes, dadas as variáveis de escolha do PNL 2050 relacionadas ao nível de acidentes em uma determinada rodovia. Em seguida, computa-se a média dos valores preditos, de forma que o indicador representa uma probabilidade média de uma rodovia ser propensa a acidentes.

> **Intuição:** o indicador depende das estimativas para os coeficientes de cada variável, que são fixos, dadas as estimativas feitas para o cenário-base. Assim, para alterar esse indicador, deve-se alterar os níveis de saturação e qualidade do pavimento em relação ao cenário-base.

CONCLUSÃO

A presente nota técnica apresentou o sistema de indicadores do PNL 2050, elucidando as fontes de dados utilizadas e formalizando a sua construção.

Além disso, foi apresentado, de forma detalhada, o que é mensurado por cada um deles, com exposições adicionais de intuições que ajudam a interpretação dos fatores que podem gerar variações dos valores entre o cenário-base e o cenário-meta.

[9] Para fins desse indicador, uma rodovia foi considerada propensa a acidentes se apresentasse mais do que 10 acidentes. Também foram considerados apenas registros de acidentes que envolvem ao menos um caminhão, para relacionar o indicador ao transporte de cargas.