

APÊNDICE I: SISTEMA DE INDICADORES DO PNL 2035

Objetivo PNT	Elemento de representação	Indicador	Unidade	Polaridade	Nível de análise
Prover um sistema acessível, eficiente e confiável para a mobilidade de pessoas e bens	Acessibilidade	Tempo médio ponderado para cargas	segundos/quilômetro	Menor Melhor	Camada estratégica
		Tempo médio ponderado para pessoas	segundos/quilômetro	Menor Melhor	Camada estratégica
	Eficiência	Custo total do transporte de cargas	R\$ Bi	Menor Melhor	Camada estratégica
		Custo médio de transporte de cargas	R\$/1000*TKU	Menor Melhor	Camada estratégica
		Custo médio de transporte de cargas para a camada internacional	R\$/1000*TKU	Menor Melhor	Camada estratégica internacional
Confiabilidade	Variação relativa do tempo médio ponderado para cargas	%	Menor Melhor	Camada estratégica	
Garantir a segurança operacional em todos os modos de transporte	Segurança	Índice de Segurança	Número índice (>=1)	Menor Melhor	Camada estratégica
Prover uma matriz viária racional e eficiente	Racionalidade da Matriz de Transportes	Matriz de Transportes em TKU	%		Nacional
		Matriz de Transportes em VKU	%		Nacional
Promover a cooperação e a integração física e operacional internacional	Integração Internacional	Tempo médio ponderado para cargas para a camada internacional	segundos/quilômetro	Menor Melhor	Camada estratégica internacional
Considerar as particularidades e potencialidades	Impacto do Transporte no Desenvolvimento Econômico	Impacto de Investimentos no PIB	%	Maior Melhor	Nacional
		Impacto de Investimentos no PIB (Regional)	%	Maior Melhor	Regional
Atuar como vetor de desenvolvimento socioeconômico e sustentável do país	Sustentabilidade Ambiental	Volumes de gases de efeito estufa emitidos	Gg CO2 equivalente	Menor Melhor	Camada estratégica
	Sustentabilidade Econômica	Desembolso	R\$ Bi	Menor Melhor	Camada estratégica
Garantir a infraestrutura viária adequada para as operações de segurança e defesa nacional	Atendimento às demandas de Defesa e Segurança Nacional	Tempo médio ponderado para cargas no recorte de defesa e segurança nacional	segundos/quilômetro	Menor Melhor	Camada Estratégica para a Segurança e Defesa Nacional

Fonte: EPL (2021)

O sistema de indicadores desenvolvido para o Plano Nacional de Logística visa caracterizar os cenários futuros simulados a partir das metodologias descritas abaixo. Tais indicadores refletem aspectos da Política Nacional de Transportes e permitem a comparação entre cenários, servindo, dessa forma, como uma métrica de escolha entre cenários para o tomador de decisões.

Tempo médio ponderado para cargas

O indicador de Tempo Médio Ponderado para Cargas reflete o tempo médio, em segundos, que uma tonelada de carga demora para perpassar um quilômetro, de forma que a unidade de medida do indicador é “segundos por quilômetro” (seg/km). O indicador abarca apenas *links* que foram contemplados na Camada Estratégica de Análise (CEA) e pertencentes aos modos rodoviário, ferroviário, hidroviário e cabotagem. Os modos dutoviário e aeroviário também são contemplados, mas calculados de modo exógeno ao modelo. Especificamente para os links rodoviários, excluíram-se os *links* de rodovias urbanas devido ao caráter peculiar dessas infraestruturas. Também foram excluídos *links* que apresentaram valores extremamente discrepantes para seu modo, considerados *outliers* – tais situações, no entanto, representaram apenas 0,0006% dos casos. As etapas de cálculo são seguir:

Etapa 1: calcular o tempo médio, em seg/km, para cada *link* e para cada um dos 38 produtos da matriz de carga. Como o tempo médio entre os produtos é o mesmo para qualquer produto que utiliza uma mesma infraestrutura, uma média simples pode ser aplicada. Para os $i \in (1, 38)$ produtos que passam o *link* j , a seguinte fórmula é aplicada:

$$\text{Tempo Médio}_j = \frac{\sum_{i=1}^{38} \frac{\text{Tempo para perpassar o link}_{i,j}}{\text{Comprimento do link}_j}}{38}$$

Etapa 2: calcular o volume em veículos por quilômetro que perpassam cada *link* j . Para isso, soma-se o volume de tráfego, em veículos, de cada umas das i matrizes de carga e multiplica-se pelo comprimento do *link*:

$$\text{Veículos por quilômetro}_j = \left(\sum_{i=1}^{38} \text{Veículos}_{i,j} \right) * (\text{Comprimento do link}_j)$$

Etapa 3: calcular o tempo médio ponderado para os n *links* abarcados pelo indicador:

$$\text{Tempo Médio do Modelo} = \frac{\sum_{j=1}^n \text{Tempo Médio}_j * \text{Veículos por quilômetro}_j}{\sum_{j=1}^n \text{Veículos por quilômetro}_j}$$

Etapa 4: por fim, calcula-se o valor final do indicador, ponderando o *Tempo Médio do Modelo* pelos tempos médios do modo aeroviário e dutoviário a partir do montante de TKU:

$$\text{TKU Total} = \text{TKU Modelo} + \text{TKU Aeroviário} + \text{TKU Dutoviário}$$

$$\begin{aligned} \text{Tempo Médio para Cargas} &= \frac{TKU \text{ Modelo}}{TKU \text{ Total}} * \text{Tempo Médio do Modelo} \\ &+ \frac{TKU \text{ Aeroviário}}{TKU \text{ Total}} * \text{Tempo Médio Aeroviário} \\ &+ \frac{TKU \text{ Dutoviário}}{TKU \text{ Total}} * \text{Tempo Médio Dutoviário} \end{aligned}$$

Diferença entre o tempo médio do cenário e o tempo médio de referência

Esse indicador reflete a diferença percentual entre o Tempo Médio Ponderado para Cargas, referido anteriormente, e o Tempo Médio de Referência para Cargas. Por sua vez, o Tempo Médio de Referência para Cargas é calculado da mesma forma que o Tempo Médio Ponderado para Cargas, com alteração no cálculo da variável *Tempo Médio_j*³¹, que é calculada da seguinte forma:

$$\text{Tempo Médio}_j = \frac{\sum_{i=1}^{38} \frac{\text{Tempo de Fluxo Livre para perpassar o link}_{i,j}}{\text{Comprimento do link}_j}}{38}$$

O Tempo de Fluxo Livre representa o valor para a carga perpassar o *link* sob a hipótese de ausência de tráfego. Supõe-se ainda que o tempo médio para o modo aeroviário e dutoviário, utilizados na Etapa 4 de cálculo do Tempo Médio Ponderado para Cargas, já estejam em seus tempos de fluxo livre, de forma que não há alteração de seus valores.

Em posse dos valores para o Tempo Médio Ponderado para Cargas e Tempo Médio de Referência para Cargas, o indicador de Confiabilidade é calculado como:

$$\text{Diferença} = \frac{\text{Tempo Médio para Cargas}}{\text{Tempo Médio de Referência para Cargas}} - 1$$

Deve-se notar que o Tempo Médio Ponderado para Cargas deve ser necessariamente maior ou igual ao Tempo Médio de Referência para Cargas, de forma que *Diferença* ≥ 0.

³¹ “Etapa 1” no cálculo do indicador de Tempo Médio para Cargas.

Tempo médio ponderado para cargas no recorte internacional

Esse indicador possui o mesmo racional de cálculo do Tempo Médio Ponderado para Cargas, com o diferencial de ser calculado apenas para *links* rodoviários e que estejam contidos na Camada Estratégica para Integração Internacional e, simultaneamente, na Camada Estratégica de Análise. Vale destacar também que a ponderação em relação aos tempos dos modos aeroviário e dutoviário não é feita, de modo que o cálculo se encerra na “Etapa 3”.

Tempo médio ponderado no recorte de segurança e defesa nacional

Para esse indicador, calcula-se o tempo médio ponderado para o tráfego de veículos, também na métrica de “seg/km”. São considerados apenas *links* rodoviários não urbanos e que estejam contemplados na Camada Estratégica de Análise e na Camada Estratégica para Segurança e Defesa, simultaneamente. Para obter o indicador, as seguintes etapas de cálculo são realizadas:

Etapa 1: calcular o tempo médio para cargas, em seg/km, para cada *link j* pela seguinte fórmula:

$$\text{Tempo Médio}_j = \frac{\text{Tempo para cargas perpassarem o link}_j}{\text{Comprimento do link}_j}$$

Etapa 2: calcular o volume em veículos por quilômetro que perpassam cada *link j*. Para isso, multiplica-se o volume de tráfego do *link j* pelo comprimento desse *link*:

$$\text{Veículos por quilômetro}_j = (\text{Volume de veículos } s_j) * (\text{Comprimento do link}_j)$$

Etapa 3: calcular o tempo médio ponderado para os *n links* abarcados pelo indicador:

$$\text{Tempo Médio do Modelo} = \frac{\sum_{j=1}^n \text{Tempo Médio}_j * \text{Veículos por quilômetro}_j}{\sum_{j=1}^n \text{Veículos por quilômetro}_j}$$

Tempo Médio Ponderado para o Transporte de Pessoas

O indicador visa refletir o tempo médio, em seg/km, para uma pessoa percorrer um quilômetro independente do modo de transporte. Constituem universo de *links* do indicador aqueles pertencentes à Camada Estratégica de Análise e do modo rodoviário, desde que não urbanos. Os modos ferroviário, aeroviário e hidroviários também são considerados para o cálculo, por mais que de forma exógena.

Etapa 1: calcular o tempo médio para automóveis e ônibus, em seg/km, para cada *link j* pela seguinte fórmula:

$$\text{Tempo Médio para Automóveis}_j = \frac{\text{Tempo para automóveis perpassarem o link}_j}{\text{Comprimento do link}_j}$$

$$\text{Tempo Médio para Ônibus}_j = \frac{\text{Tempo para ônibus perpassarem o link}_j}{\text{Comprimento do link}_j}$$

Etapa 2: calcular o volume em veículos por quilômetro que perpassam cada *link j*. Para isso, multiplica-se o volume de tráfego de automóveis do *link j* pelo comprimento desse *link*. Esse cálculo também é feito individualmente para automóveis e ônibus.

$$\text{Automóveis por quilômetro}_j = (\text{Volume de automóveis}_j) * (\text{Comprimento do link}_j)$$

$$\text{Ônibus por quilômetro}_j = (\text{Volume de Ônibus}_j) * (\text{Comprimento do link}_j)$$

$$\text{Veículos por quilômetro}_j = \text{Automóveis por quilômetro}_j + \text{Ônibus por quilômetro}_j$$

Etapa 3: calcular o tempo médio para cada *link j*:

$$\text{Tempo Medio}_j = \frac{A_j + B_j}{\text{Veículos por quilômetro}_j}$$

em que

$$A_j = \text{Tempo Médio para Automóveis}_j * \text{Automóveis por quilômetro}_j$$

$$B_j = \text{Tempo Médio para Ônibus}_j * \text{Tempo Médio para Ônibus}_j$$

Etapa 4: calcular a média ponderada para os *n links* abarcados pelo indicador:

$$\text{Tempo Médio do Modelo} = \frac{\sum_{j=1}^n \text{Tempo Médio}_j * \text{Veículos por quilômetro}_j}{\sum_{j=1}^n \text{Veículos por quilômetro}_j}$$

Etapa 5: por fim, calcula-se o valor final do indicador, ponderando o *Tempo Médio do Modelo* pelos tempos médios para transporte de passageiros pelos modos hidroviário, ferroviário e aeroviário a partir do valor em pessoas por quilômetro (PKM) da matriz interurbana:

$$\text{PKM Total} = \text{PKM Modelo} + \text{PKM Hidroviário} + \text{PKM Ferroviário} + \text{PKM aeroviário}$$

$$\begin{aligned} \text{Tempo Médio para Pessoas} = & \frac{\text{PKM Modelo}}{\text{PKM Total}} * \text{Tempo Médio do Modelo} \\ & + \frac{\text{PKM Hidroviário}}{\text{PKM Total}} * \text{Tempo Médio Hidroviário} \\ & + \frac{\text{PKM Ferroviário}}{\text{PKM Total}} * \text{Tempo Médio Ferroviário} \\ & + \frac{\text{PKM Aeroviário}}{\text{PKM Total}} * \text{Tempo Médio Aeroviário} \end{aligned}$$

Custo Total do Cenário

Esse indicador visa refletir o custo generalizado de transporte da Camada Estratégica de Análise do cenário, isto é, a soma dos custos operacionais de transporte e dos custos de valor do tempo para cargas. Enquanto que os custos de valor do tempo dependem do produto a ser transportado, independente do modo ou operação, os custos operacionais de transporte são discriminados conforme o modo³² e grupo de carga³³. Alguns elementos logísticos não são representados, como custo de armazenagem; custos por perda ou roubo da carga; ou outros custos de transação. O universo de *links* considerados para o cálculo compreende aqueles que fazem parte da Camada Estratégica de Análise e que não são urbanos. Os modos

32 Rodoviário – por quantidade de faixas da via; ferroviário – por malha; hidroviário – por restrição da hidrovia; Cabotagem; aeroviário; e dutoviário.

33 GSA; GSM; OGSM; GL; CGC; CGNC.

aeroviários e dutoviários são considerados no cálculo, mas de forma exógena. O cálculo é feito da seguinte maneira, para os n links compreendidos pelo indicador:

$$\begin{aligned} \text{Custo total} = & \left(\sum_{j=1}^n \text{Custo total do Link}_j \right) \\ & + \text{Custo total Aeroviário} \\ & + \text{Custo total Dutoviário} \end{aligned}$$

*Custo Total do Cenário por 1000*TKU*

Esse indicador visa refletir o custo médio por cada tonelada-quilômetro transportada na Camada Estratégica de Análise. Seu cálculo é feito da mesma forma que o Custo Total do Cenário, mas dividido pelo TKU total do cenário. Essa conta resulta na unidade de R\$/TKU, de forma que, para melhor apresentação, o resultado é multiplicado por 1000, modificando sua unidade para R\$/1000*TKU.

*Custo Total do Recorte Internacional por 1000*TKU*

Da mesma forma que o indicador de Custo Total por 1000*TKU, esse indicador mostra o custo médio por tonelada-quilômetro transportada, mas apenas para os links rodoviários, não urbanos e que estão simultaneamente na Camada Estratégica de Análise e na Camada para Camada Estratégica para a Integração Internacional. A forma de cálculo é idêntica ao Custo Total do Cenário por 1000*TKU, mas considerando apenas os links que se encaixam nas condições supracitadas.

Custo total do Cenário sobre os Desembolsos

Esse indicador representa a razão entre o Custo Total do Cenário, referido anteriormente, e o Valor Total dos Desembolsos do Cenário. Visa indicar uma razão entre os custos de transporte e valor do tempo e o total desembolsado no período de 2021 a 2035.

Matriz de transportes em Tonelada-Quilômetro-Útil (TKU)

Esse indicador visa calcular a repartição modal, em relação ao TKU transportado no modelo, considerando os *links* rodoviários, hidroviários, cabotagem e ferroviários. Os modos aeroviários e dutoviários também são considerados, mas são calculados de forma exógena ao modelo. Para cada $k \in (\text{Rodoviário}, \text{Hidroviário}, \text{Cabotagem}, \text{Ferroviário}, \text{Aeroviário}, \text{Dutoviário})$ modo, os seguintes cálculos são realizados:

$$TKU \text{ Total} = TKU \text{ Modelo} + TKU \text{ Aeroviário} + TKU \text{ Dutoviário}$$

$$Participação \text{ do modo } k = \frac{TKU \text{ Total do modo } k}{TKU \text{ Total}}$$

Matriz de transportes em Valor-Quilômetro-Útil (VKU)

Da mesma forma que a Matriz de transportes em TKU, esse indicador visa calcular a repartição modal em relação ao valor dos bens transacionados. Também considera os *links* rodoviários, hidroviários, cabotagem e ferroviários do modelo e os modos aeroviário e dutoviário exogenamente. Para cada $k \in (\text{Rodoviário}, \text{Hidroviário}, \text{Cabotagem}, \text{Ferroviário}, \text{Aeroviário}, \text{Dutoviário})$ modo considerado, os seguintes cálculos são feitos:

$$VKU \text{ Total} = VKU \text{ Modelo} + VKU \text{ Aeroviário} + VKU \text{ Dutoviário}$$

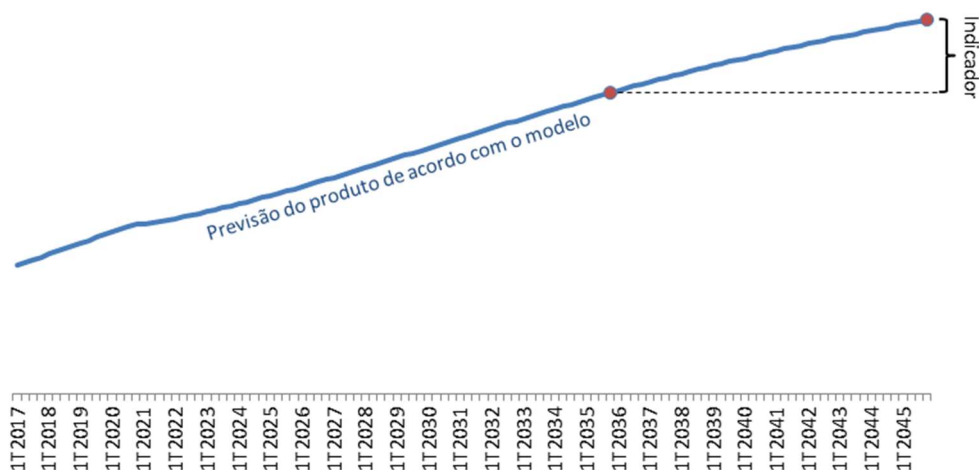
$$Participação \text{ do modo } k = \frac{VKU \text{ Total do modo } k}{VKU \text{ Total}}$$

Valor dos desembolsos do cenário

Representa a soma de todos os custos de manutenção e todos os investimentos realizados nas infraestruturas simuladas compreendendo o período de 2021 a 2035.

Impacto de Investimentos no PIB (Nacional e Regional)

Esse indicador representa o desvio do produto econômico nacional em 2045, ante o produto de 2035, gerado pelo caminho de desembolsos com manutenção e investimento em infraestrutura de 2017 a 2035. Utilizando a metodologia descrita em Munhoz (2020)³⁴, mede-se o impacto dos investimentos e manutenção da infraestrutura de transporte a partir de um modelo de equilíbrio geral dinâmico com um consumidor, um governo investidor em infraestrutura e duas firmas, sendo uma transportadora com depreciação endógena do capital variando conforme o nível de estoque de infraestrutura existente. Um exemplo de cálculo do indicador é mostrado na figura abaixo.



Para o recorte regional, foi aplicada a proporção ente a participação do PIB nacional em 2017 e o volume de desembolsos para cada uma das cinco macrorregiões brasileiras sob o impacto nacional calculado anteriormente.

34 MUNHOZ, Eduardo Dornelas. When productivity is costly: the relation between transport costs and infrastructure stock. 46 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Economia, Departamento de Economia, Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

Nível de Segurança em Relação ao Cenário Base

Esse indicador reflete a razão entre o índice de probabilidades de acidentes do cenário avaliado e o índice de probabilidade de acidentes do cenário base 2017. De acordo com a metodologia desenvolvida pela EPL, os trechos rodoviários recebem índices de probabilidade de acidentes que variam conforme as características do trecho, isto é, se (i) o trecho tem múltiplas faixas por sentido ou apenas uma; (ii) se encontra-se em região rural ou urbana; e (iii) se o tráfego predominante são de veículos de pessoas (automóveis ou ônibus) ou veículos de cargas (pesados). A tabela abaixo resume os índices recebidos para cada caracterização da via.

Tipo de pista	Uso do Solo	Índice de pesados	Índice de leves
Múltipla	Rural	0,0000069975	0,0000013479
Múltipla	Urbano	0,0000135247	0,0000104905
Simples	Rural	0,0000066243	0,0000023792
Simples	Urbano	0,0000230773	0,0000054801

Tanto o índice do cenário quanto o índice do cenário base 2017 são calculados da seguinte forma:

Etapa 1: calcular do índice de segurança para cada um dos n links rodoviários compreendidos no universo do indicador:

Se o tráfego de veículos pesados for estritamente maior que o tráfego de automóveis e ônibus:

$$\text{Índice de segurança}_j = \text{Índice de pesados}_j * \frac{\text{Tráfego total do link}_j}{\text{Comprimento do link}_j}$$

Se o tráfego de veículos pesados for menor do que o tráfego de automóveis e ônibus:

$$\text{Índice de segurança}_j = \text{Índice de leves}_j * \frac{\text{Tráfego total do link}_j}{\text{Comprimento do link}_j}$$

Etapa 2: calcular o índice de segurança geral do cenário pela fórmula abaixo:

$$\text{Índice de segurança do cenário} = \sum_{j=1}^n \text{Índice de segurança}_j$$

Etapa 3: calcular a razão entre o índice do cenário e o índice do cenário de referência:

$$\text{Indicador} = \frac{\text{Índice de segurança do cenário}}{\text{Índice de segurança do cenário de referência}}$$

Emissões de CO₂e do sistema

Compreende a soma do volume de emissões de todos os *links* rodoviários (carga e passageiros), hidroviários, cabotagem e ferroviários do modelo, além de emissões aeroviárias calculadas de forma exógena. Seu cálculo segue a fórmula abaixo, em que $k \in (\text{Rodoviário}, \text{Hidroviário}, \text{Cabotagem}, \text{Ferroviário}, \text{Aeroviário}, \text{Dutoviário})$ representam os modos de transporte que possuem fatores de emissão específicos para cada grupo de carga transportado, referenciado por $w \in (\text{GSA}, \text{GSM}, \text{OGSM}, \text{GL}, \text{CGC}, \text{CGNC})$. A multiplicação é feita por cada *link* $j \in (1, \dots, n)$, em que n representa o universo total de *links* abrangidos pelo indicador. Além do quantitativo para os veículos de carga, o cálculo também é feito para os veículos rodoviários de pessoas, em que, para cada tipo $p \in (\text{automóvel}, \text{ônibus})$ existe um fator de emissão atrelado.

$$\begin{aligned} \text{Emissões} = & \left(\sum_{j,k,w} \text{Fator de emissão}_{k,w} * TKU_{j,k,w} \right) \\ & + \left(\sum_{j,p} \text{Fator de emissão}_p * \text{Veículos}_{j,p} * \text{Comprimento do link}_j \right) \end{aligned}$$

Os fatores de emissões para cargas foram produzidos pela durante a parceria EPL-IEMA e sua metodologia está disponível no site do Observatório Nacional de Logística de

Transportes (ONTL)³⁵. Já os fatores de emissões para ônibus e automóveis foram extraídos do estudo de Carvalho (2011)³⁶.

35 Disponível em: https://www.epl.gov.br/greenbonds#dfliip-df_manual/1/ (Acesso em 23/03/2021).

36 CARVALHO, Carlos Henrique Ribeiro de. **Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos**. Texto para Discussão. TD 1606. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Brasília, abril de 2011.