

# **Plano Nacional de Logística - PNL**

## **Relatório Rede de Simulação**

Versão 1.1

**As informações apresentadas neste relatório estão reservadas ao uso restrito dos técnicos e dirigentes no âmbito da Empresa de Planejamento e Logística - EPL.**

## **Empresa de Planejamento e Logística**

Arthur Luis Pinho de Lima  
*Diretor Presidente*

Rafael Antonio Cren Benini  
*Diretor de Planejamento*

Marcelo Guerreiro Caldas  
*Diretor de Gestão*

## **Gerência de Pesquisa e Desenvolvimento Logístico**

Eimair Bottega Ebeling  
*Gerente*

Fernanda de Souza Leite  
*Assessor Técnico*

Tiago Henrique França Baroni  
*Coordenador*

Igor Moreira Mota  
*Assessor Técnico*

Tetsu Koike  
*Coordenador*

José Lucas Vieira Diniz  
*Estagiário*

Brunno Santos Gonçalves,  
*Assessor Técnico*

Leandro Rodrigues e Silva  
*Assessor Técnico*

Davi Prado Novais Moura  
*Estagiário*

Lucas Miranda França  
*Assistente Técnico*

Debora Canongia Furtado  
*Assessor Técnico*

Rafael Giaretta Affonso  
*Estagiário*

Eduardo Dornelas Munhoz  
*Assessor Técnico*

Thiago Caetano Ferraz Costa  
*Assistente Técnico*

Emmanuel Aldano de França Monteiro  
*Assessor Técnico*

Wesley de Souza da Costa  
*Estagiário*

## **Sumário**

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>6</b>
<b>2. A MODELAGEM DE TRANSPORTES .....</b>	<b>8</b>
<b>3. O ZONEAMENTO .....</b>	<b>10</b>
<b>4. ASPECTOS METODOLÓGICOS DA REDE DE SIMULAÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>4.1. Rede de Simulação – Modo Rodoviário.....</b>	<b>13</b>
<b>4.2. Rede de Simulação – Modo Ferroviário .....</b>	<b>15</b>
<b>4.2.1. Rede de Simulação – Modo Ferroviário: Terminais .....</b>	<b>17</b>
<b>4.3. Rede de Simulação – Modo Aquaviário: Hidrovias .....</b>	<b>19</b>
<b>4.4. Rede de Simulação – Modo Aquaviário: Cabotagem e Longo Curso .....</b>	<b>21</b>
<b>4.5. Rede de Simulação – Infraestrutura Portuária .....</b>	<b>23</b>
<b>4.6. Rede de Simulação – Modo Dutoviário .....</b>	<b>28</b>
<b>4.7. Rede de Simulação – Modo Aeroviário .....</b>	<b>29</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>29</b>

## **Lista de Figuras**

Figura 1: Modelo 4 etapas de planejamento de transportes .....	8
Figura 2: Zoneamento Externo .....	10
Figura 3: Zoneamento Interno .....	11
Figura 4: Rede de Simulação do modelo do PNL 2035 para calibração (ano-base 2017).....	12
Figura 5: Modelo Esquemático de “Super Rede” e Transbordo Multimodal .....	13
Figura 6: Representação da Malha Rodoviária incorporada à Rede de Simulação .	15
Figura 7: Representação da Malha Ferroviária incorporada à Rede de Simulação.	16
Figura 8 - Representação Esquemática da modelagem de Terminais Ferroviários na Rede de Simulação do PNL 2035 .....	18
Figura 9: Rede de Simulação Ferroviária considerando malhas e terminais com movimentação em 2017 a ser considerada para Calibração.....	19
Figura 10: Representação da Malha Aquaviária e Terminais Portuários incorporados à Rede de Simulação .....	20
Figura 11: Representação da Malha de Cabotagem e de Longo Curso incorporada à Rede de Simulação .....	22
Figura 12 - Abordagens de Instalações Portuárias por nível estratégico do modelo de transporte .....	24
Figura 13: Esquema de modelagem dos Portos-Cidade no PNL 2035 .....	27
Figura 14: Malha Dutoviária .....	28

## **Lista de Tabelas**

Tabela 1: Velocidades (km/h) adotadas por tipo de hidrovia e classe de carga considerados no modelo do PNL 2035 .....	21
---	----

## 1. INTRODUÇÃO

Considerando o processo dinâmico e contínuo de planejamento, vislumbrou-se a oportunidade de aperfeiçoamento dos métodos utilizados no desenvolvimento do Plano Nacional de Logística - PNL.

Assim sendo, foi identificada a possibilidade de se realizar inúmeras alterações e melhorias, dentre as quais se destacam aquelas relacionadas à Rede de Simulação, tais como: i) adensar e ajustar a representação das malhas, principalmente a rodoviária; ii) melhorar a compreensão sobre o comportamento dos terminais portuários de hidrovias interiores e de cabotagem; iii) melhorar o entendimento sobre a operação ferroviária, de sorte a tornar a modelagem da malha ferroviária e seus terminais mais assertiva; e iv) permitir a comprovação matemática do ajuste do modelo e a justificativa, também em termos matemáticos, dos comportamentos observados.

A percepção de que seriam necessárias alterações não somente no modelo de simulação do PNL, mas também em estruturas de entradas de dados e comportamentos observados se deu por meio de reuniões técnicas e discussões, iniciadas em 01 de junho de 2018 e que seguiram até setembro do referido ano, semanalmente às sextas-feiras, incluindo toda a equipe lotada na Coordenação de Planos.

As primeiras dez memórias de reunião, que deixam claras as bases das alterações e suas justificativas, podem ser observadas como um anexo deste relatório.

Cabe ressaltar que a construção de um modelo de transportes não é trivial, especialmente porque ele deve ser fortemente embasado em técnicas fiáveis e que permitam sua continuidade através do tempo. Todavia, somente a construção de um novo modelo proporcionaria a absorção de todas as melhorias e ajustes necessários.

A forma de construção do modelo, decidida nas reuniões citadas acima, permitiu que mudanças de postura de incentivo a determinados modos de

transportes, como, por exemplo, a cabotagem, possam ser rapidamente absorvidas, gerando novos resultados capazes de fornecer o impacto que tais incentivos poderiam proporcionar.

De maneira similar, melhorias nos quesitos de tecnologias, quanto à percepção dos usuários (cargas e pessoas) sobre a qualidade e confiabilidade, e outros tópicos primariamente subjetivos, poderão ser consolidados em momento posterior e introduzidos no modelo, sem que seja necessário reconstruir novamente a sua estrutura basilar.

Absorvendo as experiências obtidas no decurso da elaboração dos Estudos de Demanda da Ferrovia de Integração Oeste-Leste - FIOL, assim como de diversos testes de aplicação realizados nos últimos dois anos, o modelo poderá ser recortado para responder a estudos focais, gerando submodelos, com uma aplicação menor de esforços e, carregando consigo, todo o volume de dados e “conhecimento” que o modelo do PNL possuirá.

Esses estudos focais poderão ter seus resultados retro absorvidos pelo modelo do PNL de sorte a atualizar os Planos futuros, aumentando ainda mais a precisão e acurácia deles. Isto pode acontecer tanto para grandes projetos lineares, como a FIOL, quanto para infraestruturas concentradas, como os portos ou, ainda, outros planos como Planos Estaduais, Regionais/Metropolitanos e Setoriais<sup>1</sup>.

Importante destacar que tal possibilidade de alternância de escalabilidade só será possível graças à adoção de um novo Zoneamento, passando de microrregião para municípios. Esta municipalização, considerando menor granulometria na

---

<sup>1</sup> Mimetizando, de maneira controlada e assertiva, o visto em 'J. Ma, J. Sun, K. Li and L. Zhang, "A study on multi-resolution scheme of macroscopic-microscopic traffic simulation model," 2011 14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), Washington, DC, 2011, pp. 1421-1426. doi: 10.1109/ITSC.2011.6083058', 'L. Adacher and M. Tiriolo, "Stochastic Optimization for Macroscopic Urban Traffic Model with Microscopic Elements," 2016 UKSim-AMSS 18th International Conference on Computer Modelling and Simulation (UKSim), Cambridge, 2016, pp. 240-245. doi: 10.1109/UKSim.2016.46', 'G. Flotterod and K. Nagel, "High Speed Combined Micro/Macro Simulation of Traffic Flow," 2007 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference, Seattle, WA, 2007, pp. 1114-1119. doi: 10.1109/ITSC.2007.4357782', 'P. Kumar, R. Merzouki, B. Conrard, V. Coelen and B. Ould Bouamama, "Multilevel Modeling of the Traffic Dynamic," in IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 15, no. 3, pp. 1066-1082, June 2014. doi: 10.1109/TITS.2013.2294358', 'L. Adacher, M. Tiriolo, A macroscopic model with the advantages of microscopic model: A review of Cell Transmission Model's extensions for urban traffic networks, Simulation Modelling Practice and Theory, Volume 86, 2018, Pages 102-119, ISSN 1569-190X, <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2018.05.003>.' entre inúmeros outros.

observação dos fluxos gerados e atraídos, irá tornar o recorte do modelo do PNL para submodelos táticos mais fluido e a retroalimentação possível<sup>2</sup>.

## 2. A MODELAGEM DE TRANSPORTES

A modelagem de transporte utilizada atualmente para a elaboração do PNL baseia-se no tradicionalmente utilizado Modelo de 4 etapas. A finalidade desse modelo é prever a demanda de tráfego por meio da análise e da determinação da quantidade e do tipo de viagens entre zonas em uma determinada região, com a aplicação sequencial das etapas de Geração de Viagens, Distribuição de Viagens, Divisão Modal e Alocação de Tráfego, apresentada na Figura 1.

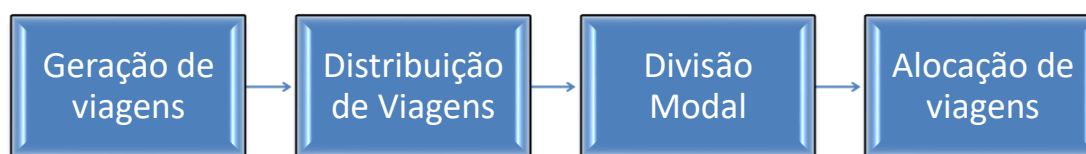


Figura 1: Modelo 4 etapas de planejamento de transportes

Fonte: EPL

Na etapa de Geração de Viagens, define-se a demanda global a ser atendida nos diversos anos-horizonte do estudo. Os modelos de geração de viagem relacionam as variáveis que descrevem a população ou a atividade econômica de cada zona de tráfego e as que caracterizam o seu padrão de uso e ocupação do solo, com o potencial da zona como unidade de produção ou consumo/atração de viagens.

<sup>2</sup> Conforme adequadamente apresentado por Bronzini, M. S. (2004) **National Transportation Networks and Intermodal Systems in Handbook of transportation engineering**. Vol. 768. New York, NY, USA: McGraw-Hill: "Obviously, the zones and the network must have complementary degrees of granularity" – "Obviamente, as zonas e a rede devem ter graus complementares de granularidade". Assim, seria inútil o esforço de representar as redes com um volume de vias e acurácia de atributos que permitam observar adequadamente os transportes no Brasil, mantendo uma agregação zonal maior. Especialmente quando observamos suscitadamente o apresentado por 'Manepalli, U. R. R., Bham, G. H., (2016) **Application of Spatial Statistics in Transportation Engineering**. DOI: 10.5772/65051'. 'Cascetta, Ennio. **Transportation systems analysis: models and applications**. Vol. 29. Springer Science & Business Media, 2009' assevera, afirmando que a menor granulometria para modelos nacionais é a consideração de cidades como zonas de tráfego. Assim, por possuir embasamento técnico, capacidade e disponibilidade de aos objetivos pretendidos, optou-se[continua] [continuação]por levar o modelo destarte à sua maior desagregação informações adequadas nesse sentido, contribuindo para um modelo robusto e com resultados compreensíveis. Recomenda-se, ainda nesse tópico, a leitura pormenorizada de Rodrigue, Jean-Paul, Claude Comtois, and Brian Slack. **The geography of transport systems**. Routledge, 2013.



A etapa de Distribuição de Viagens tem como objetivo estimar os intercâmbios de viagens entre as zonas de tráfego na área de estudo e no seu entorno. Os modelos adotados nesta etapa utilizam as estimativas de produção e atração por zona de transporte e algum tipo de informação sobre a estrutura da distribuição de demanda.

Adicionalmente, os modelos de fator de crescimento usam uma matriz atual (ou de um período anterior) como base para realizar a projeção da distribuição da demanda. Esta matriz é "fatorada" (sucessivamente corrigida), utilizando fatores de crescimento baseados na evolução estimada das produções e atrações de cada zona, da situação base para o ano-horizonte.

As etapas de geração e de distribuição de viagens, relacionadas à construção das matrizes de origem e destino encontram-se descritas em documentos específicos. Já a etapa de Divisão Modal, que tem por objetivo estimar a distribuição dos fluxos de viagens entre os pares de zonas de tráfego para cada modo de transporte analisado, será realizada em conjunto com a etapa de Alocação de viagens.

Assim sendo, na etapa de Alocação de Tráfego serão utilizadas as matrizes totais de cargas, automóveis e ônibus desenvolvidas, procedendo-se a interação com a oferta, por meio do carregamento da Rede de Simulação, possibilitando a análise da demanda associada a cada infraestrutura representada na rede e extração de indicadores para avaliação dos diferentes cenários a serem simulados.

Para que de fato a Alocação de Tráfego permita caracterizar a realidade é necessário que seja feita a Calibração das Matrizes Origem-Destino, quando será verificada a sua aderência com relação às informações de fluxos de carga e pessoas observados, em termos de fluxo de veículos, em pontos de controle considerados na Rede de Simulação.

Maiores detalhamentos sobre as melhorias metodológicas, relacionadas à Rede de Simulação do PNL em desenvolvimento, encontram-se descritos nos tópicos a seguir.

### 3. O ZONEAMENTO

O zoneamento utilizado nesta versão do PNL é dividido entre zoneamento interno e zoneamento externo. O zoneamento externo adotado é composto por 19 zonas internacionais, sendo uma para cada país da América do Sul, uma para a América Central, uma para a América do Norte, uma para o continente Europeu, uma para o Oriente Médio, outra para África, uma para Oceania e outra para Ásia. As segmentações internacionais utilizadas pelo sistema de zoneamento podem ser observadas na Figura 2.



Figura 2: Zoneamento Externo

Fonte: EPL

A ligação da Rede de Simulação a cada zona internacional é feita por meio de conectores ligados nas rotas de longo curso correspondentes a cada zona. No entanto, é importante destacar que, para o caso específico dos países da América do Sul, tais ligações também são feitas por rotas em modos terrestres.

Por outro lado, o zoneamento interno adotado considera a divisão do país em sua menor granulometria, adequada para esse tipo de estudo, ou seja, em municípios<sup>3</sup> de forma que seja possível caracterizar e prever fluxos que outrora eram descartados por serem intrazonais, sem que sejam observadas características excessivamente pontuais, como fluxos intramunicipais.

Os resultados poderão ser agrupados em diferentes níveis para apresentação, seja em microrregiões, unidades federativas, regiões, entre outras

<sup>3</sup> Cascetta, Ennio. *Transportation systems analysis: models and applications*. Vol. 29. Springer Science & Business Media, 2009.

possibilidades, sem a perda da qualidade de representações estratégicas ou análises generalizadas, fator que era impossível na forma de zoneamento anterior. Desta feita a Figura 3 a seguir ilustra as zonas consideradas no modelo para esta primeira versão aperfeiçoada do PNL:



Figura 3: Zoneamento Interno

Fonte: EPL

#### **4. ASPECTOS METODOLÓGICOS DA REDE DE SIMULAÇÃO**

A Rede de Simulação a ser considerada para a esta versão do PNL foi aprimorada, tornando-se mais abrangente, no caso do modo rodoviário, e revisada, adequando alguns traçados, parâmetros operacionais e terminais de transbordo, principalmente nos modos ferroviário e aquaviário. A Rede de Simulação completa

a ser considerada para calibração do PNL 2035, tendo como ano-base 2017<sup>4</sup>, pode ser observada na Figura 4.

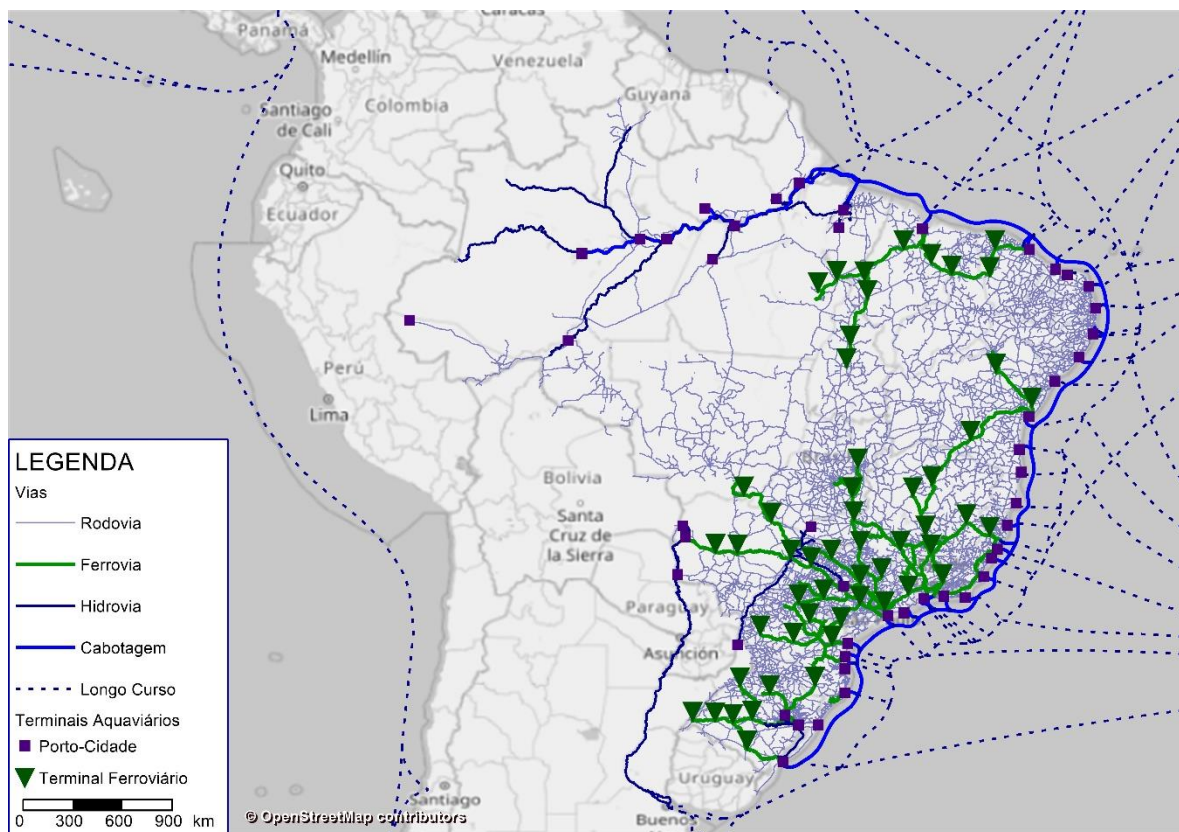


Figura 4: Rede de Simulação do modelo do PNL 2035 para calibração (ano-base 2017)

Fonte: EPL

Para a construção desta nova Rede de Simulação foi utilizada a metodologia de concepção de “Redes Multiníveis”, conhecidas pela literatura como “Super Redes”. Como pode ser observado na Figura 5, as redes dos diferentes modos de transporte foram construídas de maneira independente e isoladas. Essas redes são conectadas por meio de terminais de transbordo.

Os terminais de transbordo terrestre e aquaviário, os quais são representados graficamente por nós, que indicam o posicionamento espacial dos mesmos, são conectados na Rede de Simulação através de “links virtuais”. Esses links possuem

<sup>4</sup> O ano-horizonte de calibração foi estabelecido como sendo 2017 por ser o ano recente, com dados disponíveis mais completos, de menor interferência de externalidades e contextos político-econômicos do país.

características de impedância, custo e capacidade específicas de cada terminal. Esses fatores influenciam a utilização de tais infraestruturas pelas cargas movimentadas.

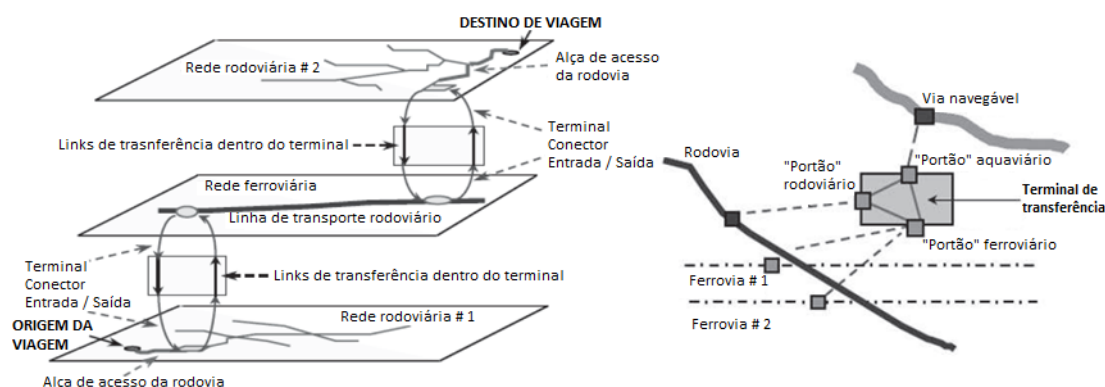


Figura 5: Modelo Esquemático de “Super Rede” e Transbordo Multimodal

Fonte: Southworth & Peterson (2000) <sup>5</sup>

#### 4.1. Rede de Simulação – Modo Rodoviário

A estruturação da Rede de Simulação do Modo Rodoviário foi feita a partir de dados obtidos por meio de imagens de satélite obtidas entre 2017 e 2018, de modo que todas suas extensões e características físico-topológicas, como seu traçado, foram absorvidas pelo modelo do PNL 2035, garantindo que as extensões representadas sejam absolutamente aderentes à realidade do ano-horizonte de calibração (2017).

De forma sucinta, as imagens fornecidas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE dos satélites da parceria com a China, CBERS, permitem a análise de diferentes espectros de luz. Tais espectros foram isolados e transformados em matrizes numéricas, com pixels de 5x5 metros. Um script de redes neurais artificiais foi treinado para reconhecer, na sobreposição das matrizes numéricas, padrões que indiquem a probabilidade da existência de uma rodovia em cada pixel.

<sup>5</sup> Southworth, F., & Peterson, B. E. (2000). Intermodal and international freight network modeling. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 8(1-6), 147–166. doi:10.1016/s0968-090x(00)00004-8

Esses dados de probabilidade de existência de uma via em um determinado pixel foram tratados de maneira espacial permitindo observar a “união transiente” de pixels de prováveis vias que, por fim, transformaram-se em uma rede bruta.

Tal rede foi validada utilizando informações “laterais” como dados abertos do OpenStreetMap e do Waze, bem como foram realizadas validações visuais randomizadas em 2350 pontos aleatoriamente escolhidos na rede para verificar sua aderência com as imagens de satélites.

Inserido no processo de validação, foram mantidas quebras (nós) que permitissem a interligação entre vias em direções distintas (como conexões em Y ou X, por exemplo), mantendo a estrutura topológica necessária para que a rede seja válida.

A partir desta metodologia foi possível recuperar mais de 3.000.000 (três milhões) de quilômetros de malha rodoviária, pavimentada e não pavimentada em todo o país. Desta extensão, uma vez que o maior interesse do PNL são fluxos regionais e não urbanos, foram incorporados à Rede de Simulação do modelo para composição do PNL 2035 cerca de 328.000 quilômetros de malha rodoviária, dos quais 63.482 quilômetros são rodovias federais e, o restante, rodovias estaduais e municipais.

A Figura 6 apresenta a representação da malha rodoviária incorporada à Rede de Simulação.



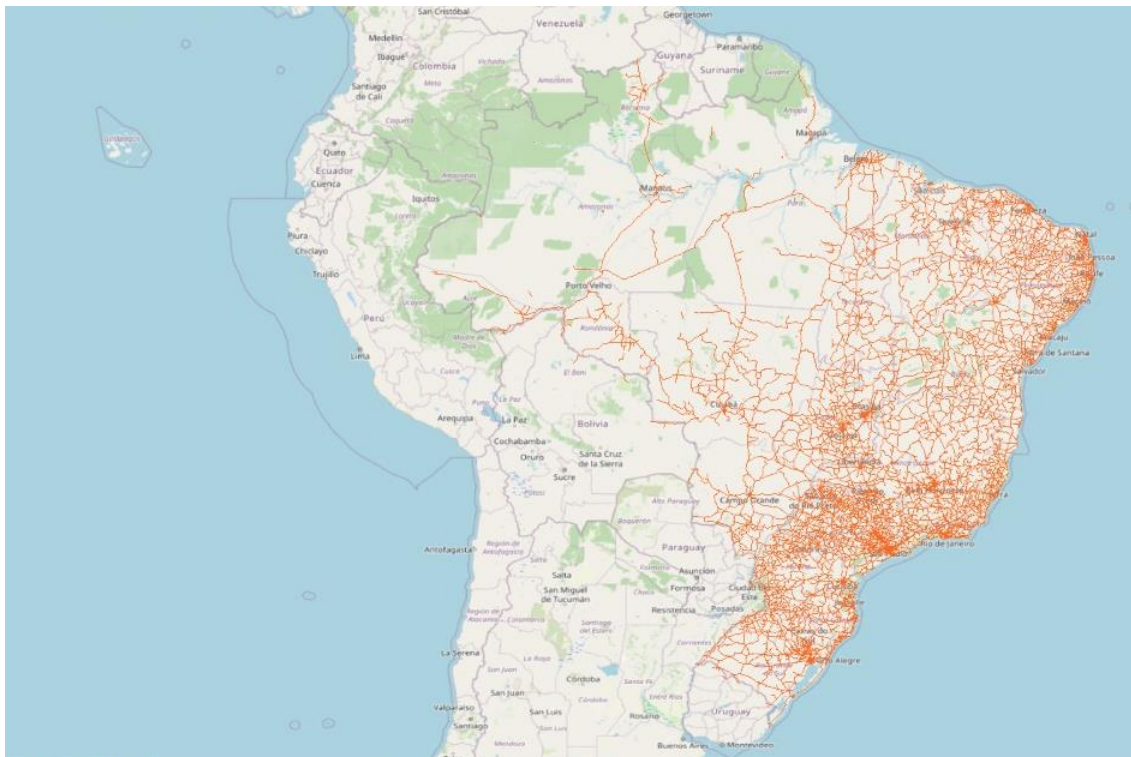


Figura 6: Representação da Malha Rodoviária incorporada à Rede de Simulação

Fonte: EPL

Os parâmetros de atributo da rede, como sentido do tráfego e velocidade, também presentes no trabalho conduzido por esta EPL, foram transportados para o modelo, permitindo que o comportamento do deslocamento das viagens rodoviárias siga características verdadeiras.

As capacidades das rodovias foram calculadas por meio da metodologia consolidada pelo *Highway Capacity Manual* – HCM 2010 e, posteriormente, anualizadas. Este trabalho encontra-se mais bem detalhado em documento específico.

Para os cenários futuros a serem analisados, serão consideradas as alterações na rede de transportes definidas a partir das análises de necessidades do cenário “base”.

#### 4.2. Rede de Simulação – Modo Ferroviário

A estruturação da Rede de Simulação para o Modo Ferroviário foi feita a partir de informações do Observatório Nacional de Transporte e Logística – ONTL da

EPL, que tem como origem a base de dados do Sistema de Acompanhamento de Fiscalização do Transporte Ferroviário – SAFF/ANTT, sendo trazida para o modelo do PNL 2035 como dados espaciais georreferenciados. Esta forma de importação permitiu a manutenção do isolamento da rede e, ao mesmo tempo, uma representação tão acurada quanto aquela observada pelo modo rodoviário.

Os segmentos que se apresentaram como inativos e/ou sem movimentação na declaração de rede constante do SAFF/ANTT, para o ano-horizonte de calibração (2017), tiveram seus links com restrição para passagem de carga (links inativos), garantindo que esses trechos não recebam alocação de carga no processo de calibração do cenário “base” sendo possível, entretanto, ativar esses segmentos para a simulação de cenários posteriores. Uma representação gráfica de toda a malha ferroviária incorporada ao modelo pode ser vista na Figura 7.

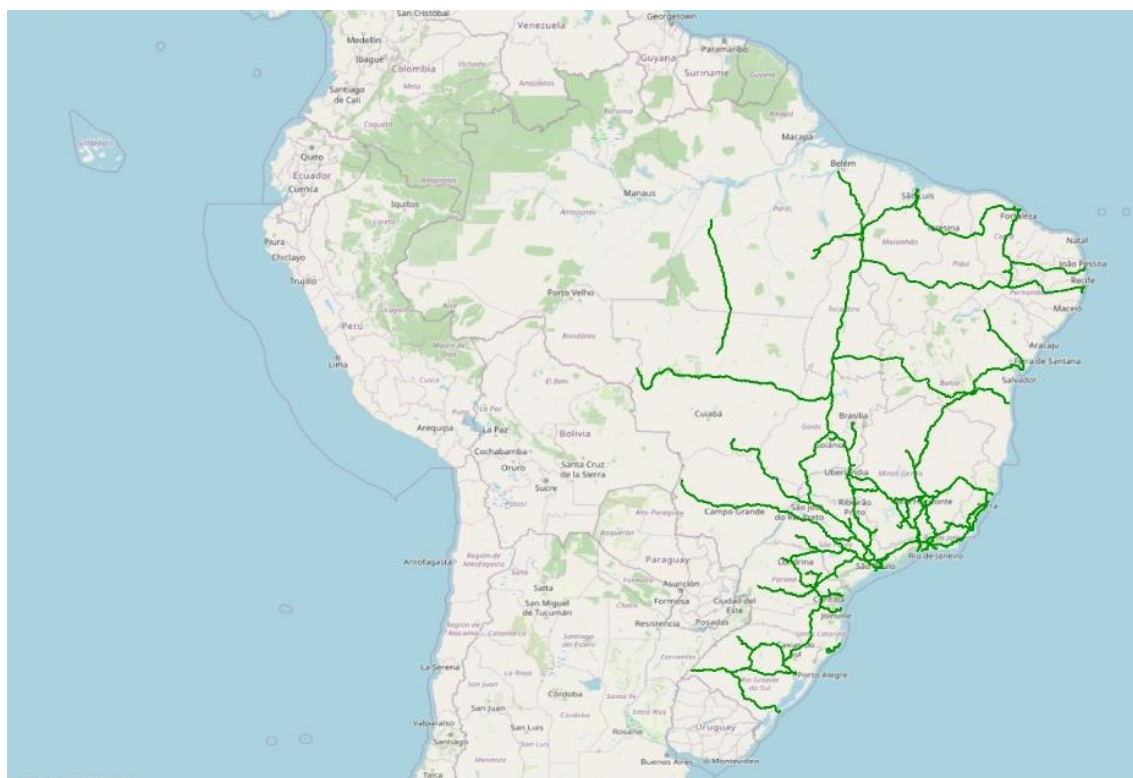


Figura 7: Representação da Malha Ferroviária incorporada à Rede de Simulação

Fonte: EPL



Ainda que já tenha sido apresentado anteriormente, cabe ressaltar que a malha ferroviária observada para o modelo de calibração condiz, hermeticamente, ao contido no SAFF/ANTT para o ano de 2017.

Da mesma maneira, os Terminais Ferroviários indicados como existentes pelo SAFF/ANTT foram representados em sua completude, seguindo os preceitos apresentados no início desta seção, por meio de nós conectados através de “*links virtuais*” que ligam tais infraestruturas à Rede de Simulação. Estes serão mais bem detalhados em tópico específico a seguir.

As velocidades observadas pela Rede de Simulação, para o modo ferroviário, foram aquelas provenientes do SAFF, considerando a realização de tratamento dos dados obtidos, de forma a ajustar a velocidade de determinados trechos que se apresentavam inconsistentes. Já os parâmetros de capacidade e custos encontram-se explicados em documentos específicos.

Para os cenários futuros a serem analisados, serão consideradas as alterações definidas a partir das análises do cenário “base”, incluindo a reativação de segmentos, que hoje, encontram-se inativos.

#### **4.2.1. Rede de Simulação – Modo Ferroviário: Terminais**

A infraestrutura de conexão ferroviária para fins de trocas modais (terminais ferroviários de transbordo de carga) foi modelada observando tanto a Declaração de Rede da ANTT, quanto o Anuário da Revista Ferroviária de 2017 para dupla verificação, utilizando a primeira como fonte primária e fiel.

Foi realizado um levantamento de todos os dados de cada terminal listado em ambas as fontes, consolidando informações sobre produtos transportados, capacidade instalada total, malha ferroviária a que o terminal pertence, situação em 2017 (ativo ou não) e localização.

De posse de tais dados, todos os terminais identificados como ativos foram inseridos no modelo, de forma a considerar um formato específico de modelagem, garantindo que as características individuais de cada terminal (perfis de carga movimentados, produtos e capacidades) fossem preservados.

Assim, cada terminal possui um *link* de acesso conectando o seu respectivo nó na ferrovia a qual pertence e *links* de transbordo conectando-o nas infraestruturas adjacentes de outros modos de transporte (Figura 8).

Esta abordagem apresenta-se como evolução ao que fora realizado anteriormente, ao passo que insere competição pelo consumo da capacidade total instalada do terminal entre as cargas permitidas, adequando o modelo à realidade que ele se propõe representar.

Logo, os comportamentos dos fluxos de transporte dos 38 grupos de produtos analisados obedecerão a regras mais factíveis e condizentes ao mercado em que se encontram inseridos.

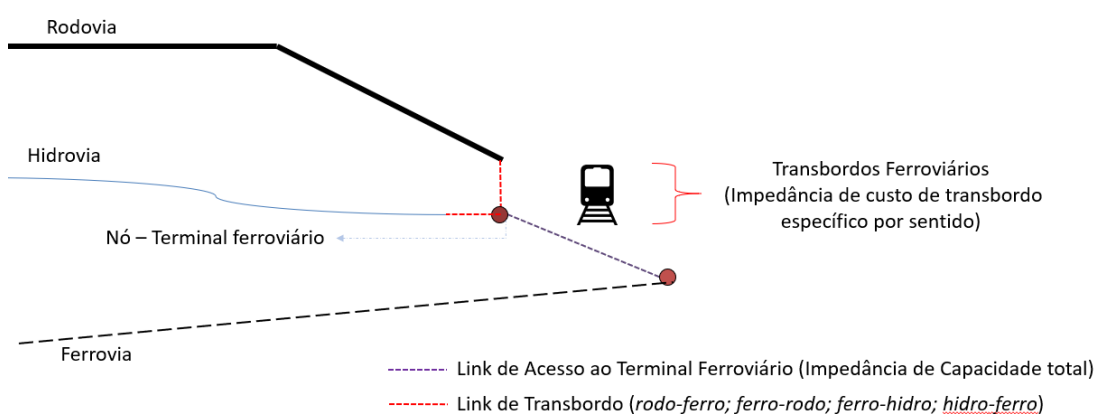


Figura 8 - Representação Esquemática da modelagem de Terminais Ferroviários na Rede de Simulação do PNL 2035

Fonte: EPL

Importante realçar novamente que, apesar de existirem infraestruturas ferroviárias ativas e disponíveis em 2017 para movimentação de carga, nem todas estavam de fato operacionais. Neste sentido, a FNS Tramo Central, por exemplo, não será considerada para o cenário de calibração, tampouco seus terminais, uma vez que não contribuíram para o fluxo de mercadorias do país à época. Portanto, as ferrovias e os terminais ferroviários, a serem considerados para a etapa de calibração, se limitam apenas ao apresentado na Figura 9.

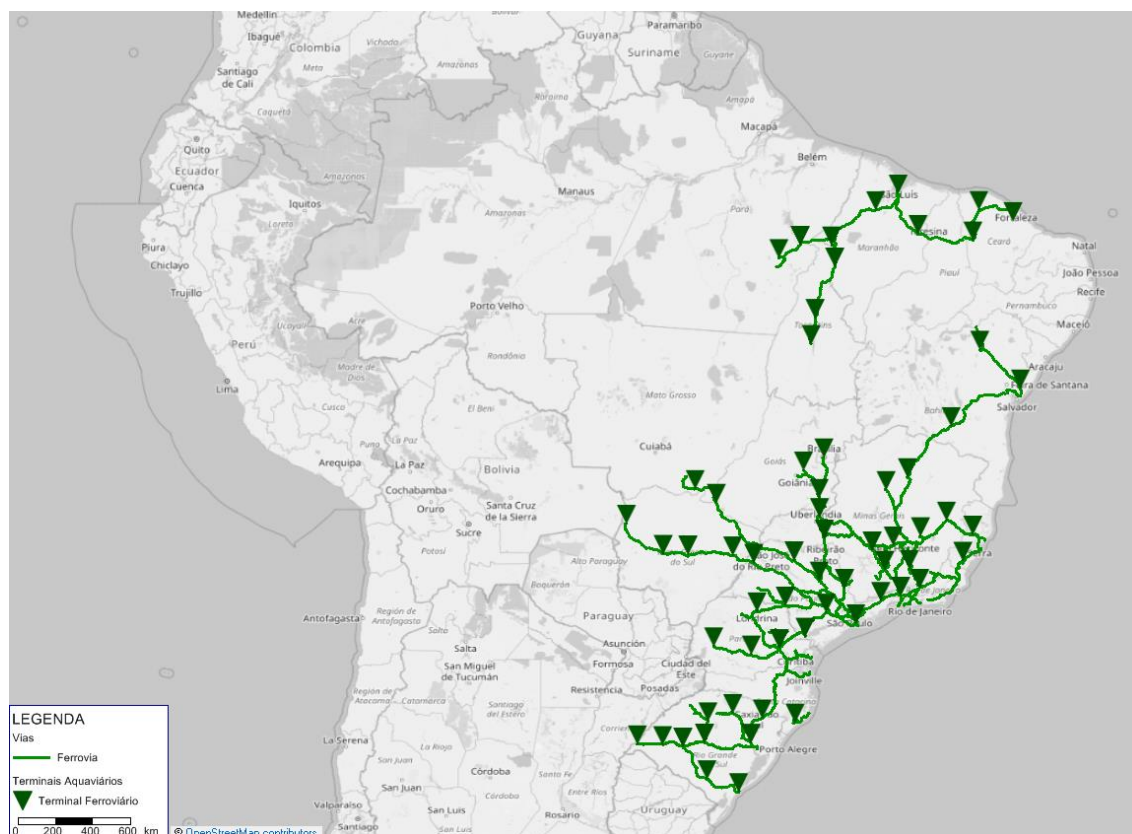


Figura 9: Rede de Simulação Ferroviária considerando malhas e terminais com movimentação em 2017 a ser considerada para Calibração

Fonte: EPL

### 4.3. Rede de Simulação – Modo Aquaviário: Hidrovias

A estruturação da Rede de Simulação para as Hidrovias também considerou as informações atinentes a este modo de transporte de posse do ONTL. As malhas georreferenciadas foram inseridas no modelo do PNL 2035 de modo que fosse possível manter suas características topológicas e de extensão.

Para o caso hidroviário, todas as hidrovias inseridas no modelo serão consideradas ativas na calibração e podem ser observadas na Figura 10.

Cabe ressaltar a possibilidade de inserção de novos trechos, assim como a capacitação de trechos que não se encontram operantes nesse momento, para os cenários futuros, a exemplo do apresentado para os modos de transportes explicitados anteriormente.

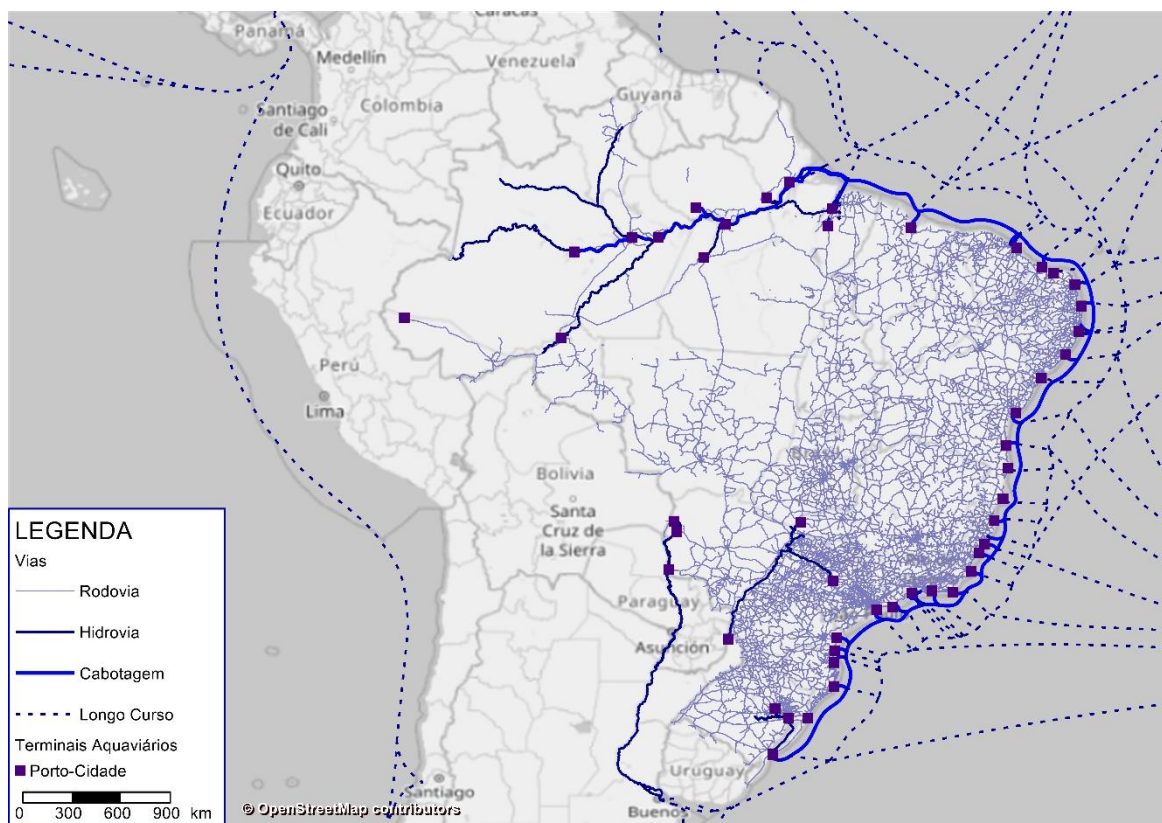


Figura 10: Representação da Malha Aquaviária e Terminais Portuários incorporados à Rede de Simulação

Fonte: EPL

As capacidades das hidrovias contempladas na Rede de Simulação foram construídas por meio de critérios apresentados em documento específico. Já no tocante as velocidades, foram consideradas diferentes velocidades para cada tipo de hidrovia e classe de carga que o PNL 2035 irá contemplar<sup>6</sup>, conforme pode ser observado na Tabela 1.

Como premissa, considerou-se que os sistemas hidroviários com maior quantidade de eclusas e limitações ao fluxo de carga (dimensão de calado, por exemplo) estariam classificados como Alta Restrição e, conforme a quantidade fosse reduzindo, a classificação passaria então de Alta para Média Restrição e por fim para Baixa Restrição:

<sup>6</sup> Para o PNL 2035 serão consideradas 6 classes de carga: i) CGC – Carga Geral Containerizável; ii) CGNC – Carga Geral Não Containerizável; iii) GSM – Granel Sólido Mineral; iv) OGSM – Outros Granéis Sólidos Minerais; v) GSA – Granel Sólido Agrícola; vi) GL – Granel Líquido

- Baixa Restrição – Amazonas, Madeira e Paraguai
- Média Restrição – Tocantins
- Alta Restrição – Paraná, Tietê e Sistema RS

Tabela 1: Velocidades (km/h) adotadas por tipo de hidrovia e classe de carga considerados no modelo do PNL 2035<sup>7</sup>

Fonte: EPL

Classe de Carga	Alta Restrição (km/h)	Média Restrição (km/h)	Baixa restrição (km/h)
GSA	8	11	12
GSM	8	11	12
OGSM	8	11	12
GL	8	11	12
CGC	9,6	13,2	14
CGNC	10	13,8	15

#### 4.4. Rede de Simulação – Modo Aquaviário: Cabotagem e Longo Curso

Para o modelo do PNL 2035, as malhas de Cabotagem e o Longo Curso foram revisadas de forma a caracterizarem rotas mais aderentes à realidade.

Para a sua reestruturação, foram utilizadas informações sobre as rotas marítimas usualmente utilizadas pelas embarcações de cabotagem e de longo curso, as quais se encontram representadas na Figura 11.

<sup>7</sup> Velocidades consolidadas a partir de dados da visita técnica realizada pela EPL em mais de 300 instalações portuárias brasileiras



Figura 11: Representação da Malha de Cabotagem e de Longo Curso incorporada à Rede de Simulação

Fonte: EPL

Importante destacar que, para o modelo, fez-se necessária a extensão de links de cabotagem e longo curso de forma paralela ao curso do Rio Amazonas (indicados na Figura 10), permitindo a movimentação da carga em embarcações marítimas diretamente pelas vias correspondentes aos seus desejos de viagem e impedâncias relacionadas.

Embora, para o transporte de longo curso, a velocidade adotada tenha sido simplificada e utilizada de forma geral, para todas as classes de carga, como sendo igual a 12 nós (22 km/h), para o transporte de cabotagem, as velocidades adotadas são aquelas praticadas pelo mercado para cada classe de carga, tal como foi observado para o modo Hidroviário:

- GSA – 23,5 km/h;
- GSM – 23,5 km/h;
- OGSM – 23,5 km/h;
- GL – 24,3 km/h;
- CGC – 33,3 km/h; e
- CGNC – 33,3 km/h.



#### 4.5. Rede de Simulação – Infraestrutura Portuária

A modelagem da infraestrutura portuária considerada para o PNL 2035 é inovadora, uma vez que até o presente momento não houve estudos portuários que contemplassem a interação dos portos com as infraestruturas viárias do país, principalmente aquelas atinentes aos acessos portuários.

Ademais, conforme Figura 12, nota-se que, a depender dos objetivos a serem alcançados e o nível estratégico considerado, diferentes abordagens devem ser modeladas.

Assim, considerando o exposto pela referida figura e os objetivos estratégicos que o PNL 2035 busca alcançar, a modelagem portuária foi concebida por meio de Portos-Cidade, proporcionando:

- a “fusão” da Zona Portuária, suas Instalações e os TUPs adjacentes com a(s) Cidade(s) em que se localizam;
- a redução da granularidade do *Cluster* Portuário, minimizando complexidades não pertencentes ao objeto e aos interesses do nível tático-estratégico de planejamento;
- o favorecimento da compreensão de impactos das atividades portuárias em escala igual à utilizada para os desejos de viagem e fluxos modelados nas redes (municipal);
- a melhor percepção das interações entre portos e as cidades, através da logística de transportes; e
- a transição mais clara entre PNL e Planos Mestres Portuários.

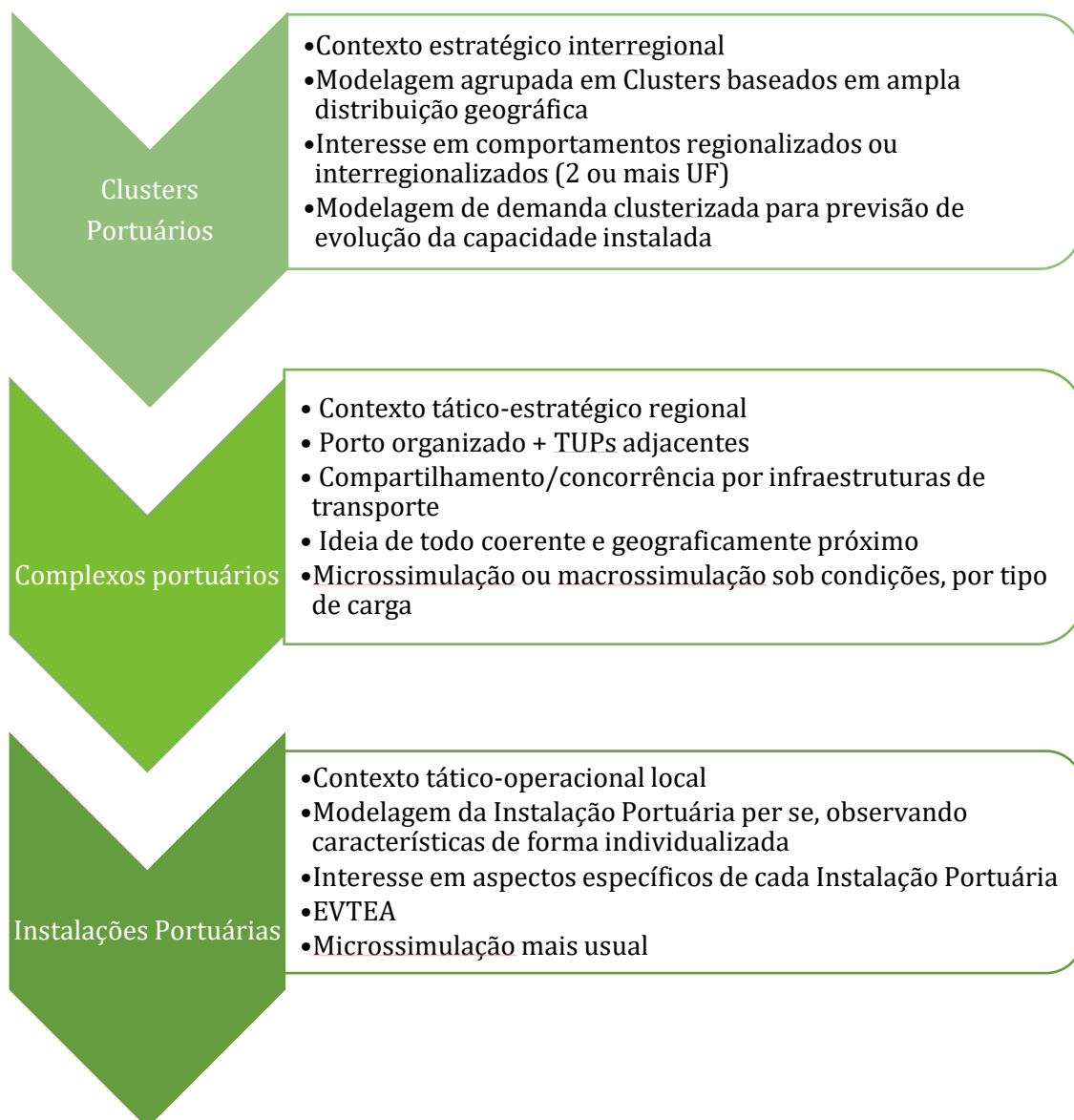


Figura 12 - Abordagens de Instalações Portuárias por nível estratégico do modelo de transporte  
Fonte: EPL

Complementarmente, uma vez havendo a diretriz para que haja a integração do PHE e PNLP ao PNL, todas as infraestruturas e características portuárias descritas nestes planos e nos Planos Mestres (tipos de acesso e perfil de carga transportada, por exemplo) foram, dentro das possibilidades, absorvidas no modelo, de forma a garantir a harmonização necessária entre tais instrumentos do planejamento de transportes.



As capacidades portuárias são consideradas como um parâmetro de alocação para esta versão do PNL. Elas são divididas por Portos-Cidades e 6 tipos de classe de carga movimentada. Esses dados foram extraídos de duas fontes: os relatórios de capacidade do PNLP e os dados de movimentação portuária da ANTAQ.

A ideia inicial era utilizar os dados de capacidade do PNLP para todos os Portos-Cidade, visto que as capacidades já estavam calculadas com a divisão por classe. Contudo, alguns terminais portuários identificados nesta versão do PNL não foram contemplados nos relatórios do PNLP. Para esses terminais, optou-se por utilizar os dados de movimentação portuária da ANTAQ como um parâmetro de capacidade. O valor da capacidade desses Portos-Cidade foi calculado considerando que o valor da máxima movimentação histórica anual por classe e por terminal portuário dos dados de movimentação da ANTAQ entre os anos de 2010 e 2019, representaria um consumo de 70% da capacidade do terminal para aquela classe. Portanto, os valores de tais capacidades foram obtidos dividindo-se o volume máximo movimentado na série por 0,7.

Assim, em seu processo de alocação de cargas, os fluxos de carga para portos levam em consideração tanto o aumento da impedância devido a saturação da capacidade quanto a escolha de rotas de acesso com menor custo generalizado.

A definição adotada para as capacidades dos portos-cidade está melhor detalhada em relatório específico.

Então, diante do exposto, para que os Portos-Cidade fossem criados, uma proposta inicial foi feita contemplando 47 Portos-Cidade, cobrindo principalmente terminais estudados no PNLP. Porém, após discussões técnicas sobre a referida proposta, foram realizadas algumas revisões com base em dados levantados de todos os terminais ativos em 2017.<sup>8</sup>

Após a referida revisão estabeleceu-se que:

---

<sup>8</sup> Dados levantados: movimentação de carga, produtos movimentados, tipos de acessos existentes, tipos de transporte realizados (navegação interior, cabotagem e/ou longo curso), tipo de instalação portuária (Porto Organizado, TUP ou ETC) e tipos de transbordos possíveis, incluindo transbordos hidro-navio para classe GSA em alguns portos localizados ao longo da hidrovia do Amazonas.

- todos os terminais públicos e únicos seriam Portos-Cidade;
- todos os terminais que fossem parte de um conjunto de terminais pertencentes a um mesmo município, independentemente deste ser público ou privado, TUP ou ETC., seriam modelados como um Porto-Cidade único e representados, no modelo do PNL 2035, pelo terminal de maior relevância em relação, principalmente, à quantidade de carga movimentada em 2017.

Assim, considerando-se a metodologia das “super redes”, foram criados 73 nós, cada um representando um município, dos 73 municípios detentores de instalações portuárias em 2017. Toda a infraestrutura portuária considerada no modelo do PNL 2035 pode ser observada na Figura 10.

A modelagem dos nós representantes dos Portos-Cidade exigiu a inserção de novos tipos de *links* virtuais. Foram criados *links* virtuais para extensão dos acessos portuários a um nó de confluência, de onde partem 6 *links* virtuais de transbordos portuários, cada um representando cada classe de carga que o Porto-Cidade atua ou tem potencial de atuar.

Esta modelagem busca garantir a especificidade de cada Porto-Cidade considerando impedâncias específicas tanto para o Porto-Cidade, quanto para a classe de carga movimentada. Ainda, com tal abordagem é possível modelar restrições de movimentação de carga, produto a produto, dos 38 agrupamentos de produtos considerados para o PNL 2035 e explicitados em documento específico. O desenho esquemático da referida modelagem encontra-se apresentado na Figura 13.

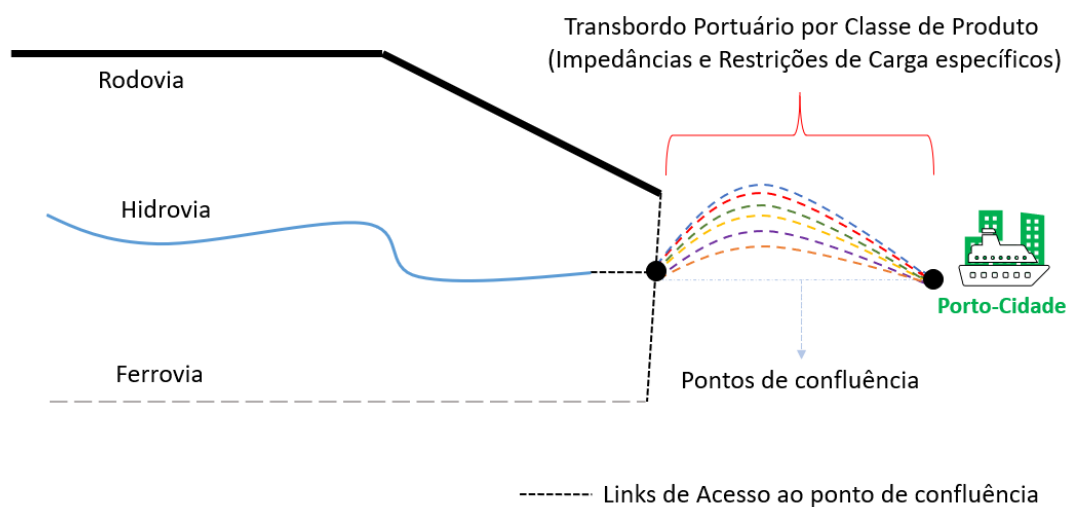


Figura 13: Esquema de modelagem dos Portos-Cidade no PNL 2035  
Fonte: EPL

Com isto, as impedâncias das malhas e as próprias restrições de movimentação nos terminais ferroviários e aquaviários, no momento de alocação, farão com que os volumes captados em cada terminal aquaviário, ainda que potenciais, resultem de uma análise conjunta de elementos da Rede de Simulação, o que trará maior assertivamente às escolhas de rota que envolvam os referidos pontos notáveis da rede.

A abordagem especificada neste item apresenta-se como evolução ao que fora realizado anteriormente no planejamento de transportes, também pelo fato de avaliar as potencialidades da carga em relação ao seu perfil de transporte, para os Portos-cidade. Logo, os comportamentos dos fluxos de transporte dos produtos analisados obedecerão a regras mais factíveis e condizentes ao mercado ao qual se inserem.

Por fim, os portos localizados em outros países (portos internacionais). Para estes, foram criados conectores diretos entre o nó de finalização da malha de longo curso e os centroides das zonas internacionais, uma vez que não convém para o modelo a consideração das impedâncias destes portos por estarem em outros países.

#### 4.6. Rede de Simulação – Modo Dutoviário

O Modo Dutoviário não será considerado na Rede de Simulação do modelo do PNL 2035. Este modo possui um comportamento de fluxo de transporte cativo, portanto não disputa com outros modos diretamente, não sendo adequado sua consideração na etapa de alocação da demanda na rede.

Neste sentido, embora o desenho da malha dutoviária exista no repositório de arquivos da EPL, a sua representação no PNL 2035 se limitará a um pré carregamento considerando a demanda atualmente transportada por dutovias.

Destaca-se que tal demanda será extraída das matrizes origem-destino antes da alocação para evitar resultados inconsistentes ou com duplicidade dos volumes considerados.

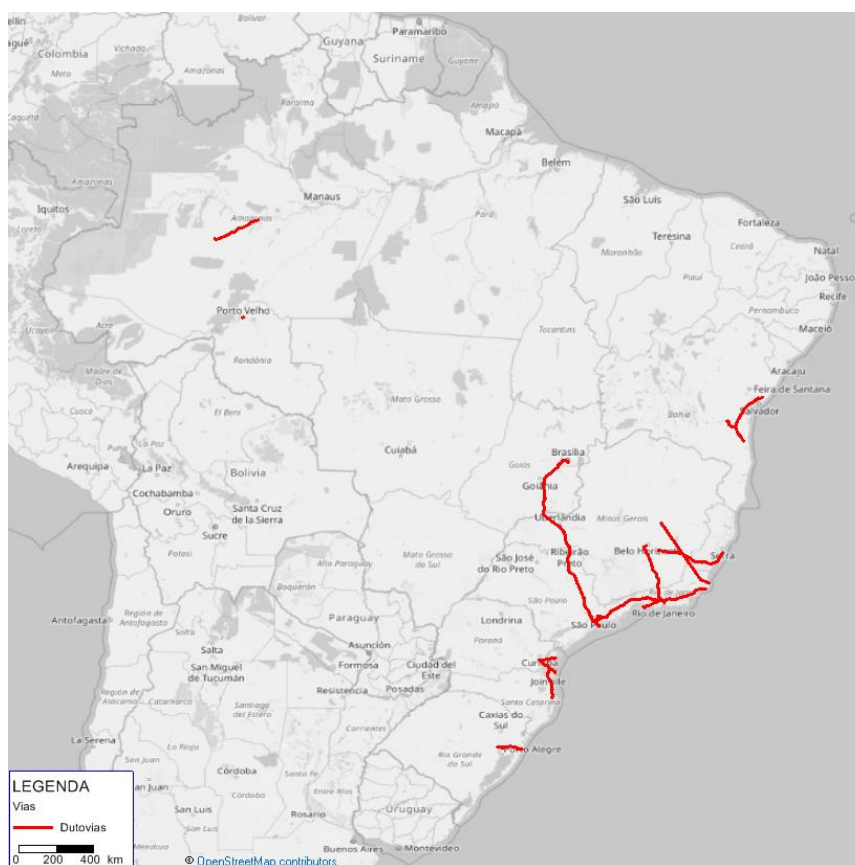


Figura 14: Malha Dutoviária  
Fonte: EPL

#### **4.7. Rede de Simulação – Modo Aeroviário**

Conforme diretriz do MINFRA de forma a garantir a integração e harmonização entre o PNL e o Plano Aeroviário Nacional – PAN, a modelagem de transporte do PNL não será utilizada para a realização do planejamento aeroviário, o qual ficará todo consolidado no PAN. Portanto, de igual modo ao realizado no caso do modo dutoviário, a demanda, correspondente a este tipo de transporte, será extraída das matrizes origem-destino antes da alocação para evitar resultados inconsistentes ou com duplicidade dos volumes considerados.

Importante ressaltar, que o transporte de cargas no modo aeroviário tem uma representação em volume da ordem de 1%, conforme levantamentos realizados pela EPL.

### **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Entende-se que esta é uma versão preliminar do Relatório de Rede de Simulação de Transportes do modelo do PNL 2035, que visa dar ciência às definições estratégicas deste tema para a elaboração do referido Plano até o momento

Portanto, é um documento passível de modificações futuras, inclusive a curto prazo, dada novas circunstâncias ou discussões técnicas ainda em andamento.

Espera-se que, uma vez validada e concluída a etapa de definições do modelo, a versão final deste relatório cumpra com o propósito de nivelar as informações do corpo diretivo e dos técnicos das equipes da EPL envolvidos na elaboração da próxima versão do PNL, acerca das definições sobre modelo e rede de simulação, principalmente em relação as metodologias utilizadas e da lógica de construção, aperfeiçoamentos incorporados e justificativas apresentadas para tais aperfeiçoamentos, no momento em que elas estiverem finalizadas e discutidas internamente.