

Indicadores Climáticos e Socioambientais para Infraestrutura de Transportes: Subsídios para o Plano Nacional de Logística

Seleção # BR-T1505-P006

Proposta metodológica de indicadores de sustentabilidade

Setembro de 2025



FICHA INSTITUCIONAL

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES

Ministro dos Transportes

José Renan Vasconcelos Calheiros Filho

Secretário-Executivo

George André Palermo Santoro

Subsecretaria de Fomento e Planejamento

Gabriela Monteiro Avelino

Larissa Spinola

Aline Santana Contar de Souza

Rodrigo Santos Ferreira

Camilla do Carmo Perotto

José Paulo Rima de Oliveira Faria

João Akio Ribeiro Yamaguchi

Subsecretaria de Sustentabilidade

Cloves Eduardo Benevides

George Yun

Fani Mamede

BANCO INTERAMERICANO DE DESENVOLVIMENTO

Representante do BID no Brasil

Annette Bettina Killmer

Especialista Líder em Transportes

Ana Beatriz Figueiredo de Castro

Consultores

Melissa Benito Gagnani

UK Sustainable Infrastructure Program (UK SIP)

Apoio Técnico

MCRIT - WayCarbon - Ibergeo

SUMÁRIO

LISTA DE ACRÔNIMOS E SIGLAS	4
CONCEITOS BÁSICOS	5
1. INTRODUÇÃO.....	8
2. OBJETIVOS	8
3. INDICADORES RELATIVOS À MUDANÇA DO CLIMA: ADAPTAÇÃO E MITIGAÇÃO	9
PARTE A. AVALIAÇÃO DO ESTADO DA ARTE	10
EXPERIÊNCIA NO BRASIL	10
EXPERIÊNCIA INTERNACIONAL.....	13
CONCLUSÕES E LIÇÕES APRENDIDAS	17
PARTE B. INDICADORES DE MUDANÇA DO CLIMA	19
PROPOSTA DE INDICADORES DE MITIGAÇÃO	19
PROPOSTA DE INDICADORES DE ADAPTAÇÃO	20
4. INDICADORES SOCIOAMBIENTAIS	27
PARTE A. AVALIAÇÃO DO ESTADO DA ARTE	27
EXPERIÊNCIA NO BRASIL.....	27
EXPERIÊNCIA INTERNACIONAL.....	29
CONCLUSÕES E LIÇÕES APRENDIDAS	31
PARTE B. INDICADORES SOCIOAMBIENTAIS	32
PROPOSTA DE INDICADORES SOCIOAMBIENTAIS	33
REFERÊNCIAS.....	38

LISTA DE ACRÔNIMOS E SIGLAS

ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil

ANTAQ - Agência Nacional de Transportes Aquaviários

ANTT - Agência Nacional de Transportes Terrestre

BID - Banco Interamericano de Desenvolvimento

COP - Conferência das Partes

CMR - Centro de Monitoramento Remoto

CRA - *Climate Risk Assessment* (Avaliação de Riscos Climáticos)

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EVTEA - Estudo de Viabilidade Técnica Econômica e Ambiental

GEE - Gases de Efeito estufa

GIRI - *Global Infrastructure Risk Model and Resilience Index* (Modelo Global de Risco de Infraestrutura e Índice de Resiliência)

IDA - Indicador de Desempenho Ambiental

IFC - *International Finance Corporation* (Corporação Financeira Internacional)

IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change* (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)

IM – Índice Morfométrico

ISS - Índice de Susceptibilidade do Solo

ITF - *International Transport Forum* (Forum Internacional de Transportes)

MMA - Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima

MPO - Ministério do Planejamento e Orçamento

MPOR - Ministério de Portos e Aeroportos

MT - Ministério dos Transportes

NDC - *Nationally Determined Contributions* (Contribuições Nacionalmente Determinadas)

OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico

PIT - Planejamento Integrado de Transportes

PNL - Plano Nacional de Logística

PPA - Plano Plurianual

PPCD - Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento

PPI - Programa de Parcerias de Investimentos

RCP - *Representative Concentration Pathways* (Trajetórias Representativas de Concentração)

SSP - *Shared Socio-economic Pathways* (Caminhos Socioeconômicos Compartilhados)

TKU – toneladas por quilômetro útil

CONCEITOS BÁSICOS

Mudança do clima refere-se à alteração do clima atribuída direta ou indiretamente à atividade humana que altera a composição da atmosfera global e que se soma à variabilidade climática natural observada em períodos comparáveis¹.

Impacto climático diz respeito às consequências ou efeitos da mudança do clima sobre vidas humanas, modos de vida, meios de subsistência, saúde e bem-estar, ecossistemas e espécies, economia, bens sociais e culturais, serviços (inclusive ecossistêmicos) e infraestrutura¹.

Mitigação refere-se às Intervenções humanas para reduzir as fontes ou aumentar os sumidouros de gases de efeito estufa¹.

Adaptação Climática é o processo de ajuste dos sistemas e infraestruturas ao clima futuro e aos seus efeitos, incluindo iniciativas, ações e medidas voltadas a moderar ou evitar danos potenciais, reforçando sua resiliência¹.

Resiliência climática é a capacidade dos sistemas de enfrentar eventos, tendências ou distúrbios perigosos, respondendo ou se reorganizando de forma a manter suas funções, identidade e estrutura essenciais, além de preservar a capacidade de adaptação, aprendizado e transformação¹.

Exposição refere-se à presença de pessoas, ecossistemas, bens, serviços ou infraestrutura em áreas sujeitas a perigos climáticos. Quanto maior a concentração ou a permanência desses elementos em zonas de risco, maior a sua suscetibilidade a sofrer impactos decorrentes de eventos extremos ou de transformações ambientais graduais¹.

Sensibilidade é o grau e a magnitude com que um sistema exposto a perigos tende a ser afetado por uma ocorrência climática à qual esteja exposto. Reflete a fragilidade ou robustez intrínseca do sistema frente a perturbações externas e a relevância dos impactos que podem ser observados em caso de falha ou disfunção decorrente do evento climático¹.

Capacidade adaptativa diz respeito à habilidade dos sistemas de se ajustarem às mudanças do clima, reduzindo danos potenciais, aproveitando oportunidades ou enfrentando as consequências de forma eficiente. Essa capacidade está relacionada a fatores como conhecimento técnico, recursos financeiros, infraestrutura disponível, organização institucional e coesão social¹.

Risco é a combinação da probabilidade de ocorrência de eventos adversos e da gravidade de seus impactos potenciais sobre sistemas humanos, ecológicos ou infraestruturais. No contexto da mudança do clima, o risco decorre da interação entre a exposição dos sistemas aos perigos climáticos, sua sensibilidade aos impactos e sua capacidade adaptativa ou de resposta¹.

Desenvolvimento sustentável refere-se ao desenvolvimento que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas próprias necessidades, promovendo simultaneamente a inclusão social, a proteção ambiental, o

¹ Referência dos Conceitos: IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change* (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas). Site: <https://apps.ipcc.ch/glossary/>.

crescimento econômico e a transformação da estrutura produtiva para atividades de maior valor adicionado¹.

Impactos socioambientais são os efeitos, diretos ou indiretos, que uma intervenção humana — como a implantação ou operação de uma infraestrutura — exerce sobre o meio ambiente e as dinâmicas sociais a ele associadas. Esses impactos podem incidir sobre ecossistemas, recursos naturais, territórios tradicionais, modos de vida, patrimônio cultural, saúde coletiva e coesão social, manifestando-se tanto de forma imediata quanto acumulada ao longo do tempo.

Desmatamento Supressão de vegetação nativa, de forma total ou parcial, com a remoção da cobertura florestal original.²

Floresta primária refere-se à vegetação nativa que nunca foi significativamente alterada por ações humanas, mantendo suas características ecológicas originais em termos de estrutura, composição de espécies, dinâmica e serviços ecossistêmicos. São ecossistemas de alta integridade ambiental e elevado valor para a conservação da biodiversidade.

Biodiversidade é a variedade de formas de vida presentes na Terra, incluindo a diversidade genética, de espécies e de ecossistemas. Representa a base dos serviços ecossistêmicos que sustentam a vida humana e é especialmente sensível a pressões como desmatamento, fragmentação de habitat e mudanças climáticas.

Corpos de água (Corpos Hídricos) são unidades superficiais ou subterrâneas de acumulação de água, como rios, lagos, lagoas, reservatórios, aquíferos e demais depósitos naturais ou artificiais, cuja qualidade e uso estão sujeitos ao enquadramento e às normas da Política Nacional de Recursos Hídricos e da Resolução CONAMA nº 357/2005. Desempenham papel essencial na regulação climática, no fornecimento de água para consumo e produção, na manutenção da biodiversidade aquática e nos modos de vida das populações ribeirinhas.

Commodities são substâncias ou produtos primários, minerais ou agrícolas, normalmente insumos para a produção de bens acabados, cuja precificação é determinada por padrões específicos de composição e qualidade, o que as tornam perfeitamente intercambiáveis com os de sua mesma espécie. São exemplos: soja em grão, cobre, minério de ferro, petróleo *brent*³.

Deslizamentos são um movimento de massas de rochas, terra ou detritos em geral que ocorrem em encostas quando a força da gravidade ou a tensão estrutural desses materiais excedem a resistência da estrutura do material. As causas desse rompimento estrutural são muito variadas, podendo ser causadas por diversos processos como a erosão natural, escavação, sobrecarga de peso, percolação de água ou soerguimento do lençol freático, acúmulo de material ou mesmo terremotos e outras perturbações⁴.

Inundação pode ser definida como o transbordamento de água proveniente de canais, rios, lagos e açudes como resultado do volume excessivo de água da chuva, e de demais elementos morfológicos e topografia da bacia hidrográfica.

² Referência dos Conceitos: Código Florestal.

³ Referência dos Conceitos: Senado. Site: <https://www12.senado.leg.br/manualdecomunicacao/guia-de-economia/commodity-commodities>).

⁴ Referência dos Conceitos: MENG, 2021. Site: <https://www.britannica.com/science/landslide>).

Secas Meteorológicas caracterizam-se pela falta de água induzida pelo desequilíbrio anormal entre a precipitação e a evaporação. Dependem, ainda, de outros elementos climatológicos como a velocidade do vento, temperatura, umidade do ar e insolação.

Terras indígenas são áreas tradicionalmente ocupadas por povos indígenas, reconhecidas legalmente como de usufruto exclusivo, conforme a Constituição Federal brasileira. Esses territórios possuem dimensões culturais, ambientais e sociais profundas, e sua proteção é fundamental para a garantia dos direitos dos povos originários e para a conservação de ecossistemas.

Terras/territórios quilombolas são territórios ocupados por comunidades remanescentes de quilombolas, descendentes de africanos escravizados, que desenvolveram formas próprias de organização social, econômica e cultural. O reconhecimento desses territórios busca assegurar os direitos territoriais, a preservação da identidade cultural e a reparação histórica dessas comunidades.

Reservas extrativistas são unidades de conservação de uso sustentável destinadas à proteção dos meios de vida e da cultura de populações tradicionais, garantindo o uso coletivo dos recursos naturais por meio de práticas extrativistas, agrícolas e pesqueiras de baixo impacto ambiental.

Unidades de Proteção Integral referem-se às unidades de conservação da natureza voltadas à preservação plena dos ecossistemas, com uso restrito de seus recursos. Incluem categorias como Estações Ecológicas, Reservas Biológicas e Parques Nacionais, e têm como principal finalidade a conservação da biodiversidade, permitindo apenas atividades de pesquisa científica e visitação controlada.

Áreas com títulos/processos minerários são porções do território nacional que apresentam potencial para a exploração de recursos minerais, com registros formais de requerimentos, concessões ou autorizações para pesquisa ou lavra. A presença dessas áreas pode representar pressões significativas sobre os ecossistemas e as populações locais, especialmente quando associada a obras de infraestrutura de acesso⁵.

Áreas de interesse agrícola são zonas identificadas como aptas ou preferenciais para o desenvolvimento de atividades agropecuárias, com base em características como solo, clima, relevo e disponibilidade hídrica. Essas áreas, embora produtivas, podem representar risco de expansão desordenada ou conversão de ecossistemas naturais, especialmente em regiões de fronteira agrícola.

Justiça climática é uma abordagem que busca combater desigualdades sociais e promover os direitos humanos no enfrentamento da mudança do clima, com atenção especial aos grupos vulnerabilizados e às pessoas discriminadas por motivos de gênero, raça ou orientação sexual. Também considera o tratamento das responsabilidades históricas pela mudança do clima e a proteção de garantias e direitos fundamentais.

⁵ Referência dos Conceitos: SIGMINE/ANM.

1. INTRODUÇÃO

No contexto da 30ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (COP 30), prevista para novembro deste ano no estado do Pará, o Brasil reafirma seu compromisso com o avanço das políticas ambientais e com o fortalecimento da ação climática coletiva. Alinhado a esse compromisso, o Governo Brasileiro, por meio do Ministério dos Transportes (MT), está desenvolvendo o Plano Nacional de Logística (PNL) 2050, instrumento estratégico que orientará o desenvolvimento da infraestrutura de transportes no país nas próximas décadas.

O PNL 2050 é um instrumento interministerial, desenvolvido no âmbito do Planejamento Integrado de Transportes (PIT) pelo Ministério dos Transportes (MT), Ministério de Portos e Aeroportos (MPOR), Ministério do Planejamento e Orçamento (MPO) e pela Casa Civil da Presidência da República, com abrangência sobre a infraestrutura federal dos modos rodoviário, ferroviário, aquaviário, portuário e aéreo.

De maneira inédita, o PNL 2050 pretende incorporar ao planejamento de longo prazo da logística brasileira uma avaliação integrada de riscos, impactos e oportunidades socioambientais e de adaptação e mitigação de forma transversal, fortalecendo o papel estratégico do PNL como orientador de políticas públicas e investimentos. Assim, serão elaborados indicadores de sustentabilidade, que devem refletir as especificidades e vulnerabilidades de cada modo, assegurando comparabilidade e coerência na priorização de projetos.

Além do enfrentamento da mudança do clima, a sustentabilidade da infraestrutura de transportes no Brasil requer indicadores que contemplem também os impactos socioambientais mais amplos, como a pressão sobre áreas de preservação, a indução de processos de desmatamento, a perda de biodiversidade e os efeitos diretos sobre comunidades indígenas, quilombolas e outros povos e comunidades tradicionais. Esses aspectos são indissociáveis da análise logística, pois condicionam a viabilidade social, ambiental e econômica dos investimentos.

Como horizonte, o governo federal pretende incorporar dimensões de justiça climática e territorial, assegurando que os grupos mais vulneráveis sejam devidamente considerados nos processos de planejamento. Terras indígenas, territórios quilombolas e reservas extrativistas são exemplos de áreas cuja interação com os sistemas de transporte precisa ser avaliada para garantir a proteção de direitos constitucionais e a promoção da inclusão social.

Dessa forma, o PNL 2050 consolida-se como um instrumento não apenas de logística, mas também de gestão integrada do território, ao articular variáveis ambientais, climáticas e sociais. Essa abordagem fortalece a governança interministerial e intersetorial, garantindo que a priorização de projetos esteja alinhada aos compromissos nacionais e internacionais de sustentabilidade, resiliência e proteção da biodiversidade.

2. OBJETIVOS

Este documento tem como objetivo propor a incorporação de indicadores socioambientais, integrados a outros parâmetros estratégicos de avaliação, que contribuam para uma melhor

compreensão do planejamento de infraestruturas, para os processos de priorização de projetos de transporte e para a avaliação estratégica do PNL 2050. Essa abordagem considera a intensificação progressiva dos impactos da mudança do clima, bem como os impactos socioambientais causados pela infraestrutura, e busca promover decisões de investimento mais robustas, alinhadas às diretrizes nacionais e internacionais de sustentabilidade e resiliência.

Os indicadores apoiarão a tomada de decisão sobre quais infraestruturas são mais relevantes para o país, considerando os vetores de sustentabilidade e mudanças climáticas, conforme as diretrizes do novo marco institucional. Portarias como a nº 3/2024 (COSUST), nº 64/2025 (PRO-AdaptaVias), nº 689/2024 (debêntures incentivadas e de infraestrutura) e nº 622/2024 evidenciam o movimento do MT, MPOR, MPO e Casa Civil em incorporar a adaptação climática e as variáveis socioambientais aos instrumentos de planejamento, incluindo temas como desmatamento, biodiversidade e impactos sobre populações tradicionais. Nesse sentido, os novos indicadores de sustentabilidade alinham-se às estratégias nacionais emergentes, fortalecendo a base técnica para decisões de investimento mais resilientes, inclusivas e socialmente responsáveis.

A proposta metodológica para os indicadores socioambientais do PNL 2050 inclui análises ambiental, climático e social; e contempla tanto os riscos que afetam diretamente a infraestrutura, como eventos extremos agravados pelas mudanças do clima que comprometem o funcionamento de rodovias, ferrovias, hidrovias, portos e aeroportos, quanto os riscos gerados por ela, como o potencial indutor de desmatamento associado à pavimentação de estradas. Essa abordagem permitirá uma leitura integrada dos impactos e das vulnerabilidades associadas ao sistema de transportes.

Os resultados e recomendações derivados da aplicação dos indicadores buscarão orientar políticas públicas e decisões estratégicas de investimento, assegurando que o PNL 2050 esteja alinhado aos compromissos climáticos do Brasil, promova a resiliência da infraestrutura de transportes e contribua para a redução das vulnerabilidades socioambientais em escala nacional.

3. INDICADORES RELATIVOS À MUDANÇA DO CLIMA: ADAPTAÇÃO E MITIGAÇÃO

Este capítulo apresenta a proposta metodológica para avaliar, de forma articulada, os riscos climáticos que afetam as infraestruturas e o desempenho climático dos projetos em termos de emissões e eficiência. A abordagem busca alinhar a priorização de investimentos às metas nacionais de resiliência e descarbonização, promovendo decisões que integrem robustez frente aos impactos futuros e contribuição efetiva para a transição climática.

Na Parte A deste capítulo, apresenta-se o estado da arte dos estudos e documentos internacionais que fundamentam a proposta metodológica adotada. Em seguida, a Parte B desenvolve um marco conceitual para a incorporação dos indicadores de mudanças climáticas, com a definição específica dos indicadores de adaptação — voltados à avaliação dos riscos físicos e da vulnerabilidade da infraestrutura — e dos indicadores de mitigação, que mensuram a eficiência do sistema de transportes em termos de emissões de gases de efeito estufa (GEE).

EXPERIÊNCIA NO BRASIL

No contexto brasileiro, algumas iniciativas institucionais têm buscado incorporar a variável climática e ambiental na avaliação e monitoramento das infraestruturas de transportes. Esse esforço reflete a crescente necessidade de alinhar o planejamento logístico nacional aos compromissos climáticos e às diretrizes de sustentabilidade, especialmente diante dos desafios impostos pela mudança do clima.

Para subsidiar a construção de indicadores no âmbito do Plano Nacional de Logística (PNL 2050), foram selecionadas as principais iniciativas que já propõem abordagens relevantes: o projeto AdaptaVias, voltado à avaliação de impactos e riscos climáticos nos setores rodoviário e ferroviário; os Indicadores de Desempenho Ambiental desenvolvidos pela Agência Nacional de Transportes Terrestre (ANTT) para os setores rodoviário e ferroviário e pela Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ) para o portuário; o Programa “Aeroportos Sustentáveis” da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC); os componentes de mitigação e adaptação do Plano Clima (atualmente em fase de consulta pública); e a Estratégia Brasil 2050.

A Tabela 1 apresenta um resumo dessas iniciativas, destacando seus objetivos, os principais grupos de indicadores utilizados e as limitações observadas quanto à incorporação de aspectos relacionados ao risco climático, referentes à mitigação e adaptação no setor de transportes.

Tabela 1 – Resumo das iniciativas nacionais avaliadas para subsidiar os indicadores de mudança do clima no PNL 2050

Iniciativa	Descrição	Objetivo	Tópicos de interesse	Limitações
Adapta Brasil, considerando o AdaptaVias e o estudo de "Impactos e Riscos da Mudança do Clima nos Portos Públicos Costeiros" (República Federativa do Brasil, 2022)	Identificação dos riscos climáticos sobre rodovias, ferrovias e portos e estratégias de preparação.	Identificar vulnerabilidades e propor ações de adaptação às mudanças climáticas.	Indicadores de ameaça climática; Indicadores de exposição geográfica; Indicadores de vulnerabilidade operacional.	Foco na identificação de risco climático em rodovias, ferrovias e portos tratados separadamente.
ANTT - Indicador de Desempenho Ambiental (IDA) no Manual de Indicadores do Plano de Parcerias Rodoviárias	Manual de indicadores para monitoramento ambiental das concessões rodoviárias federais.	Padronizar medição de desempenho ambiental nas concessões rodoviárias.	Política ambiental e certificações; Preservação da biodiversidade; Mobilidade ativa; Gestão de água, resíduos e energia; Inovação socioambiental.	Não incorpora riscos climáticos de forma estruturada.
ANTT - Indicador de Desempenho Ambiental (IDA) do Setor Ferroviário	Manual de indicadores para monitoramento ambiental de ferrovias. Regulamentado pela	Avaliar desempenho ambiental das concessões ferroviárias.	Governança ambiental; Emissões de GEE; Eficiência energética; Gestão de água, resíduos e biodiversidade.	Abordagem ambiental ampla, sem foco específico em riscos climáticos.

	Portaria ANTT nº 10/2021.			
ANTT – Programa de Sustentabilidade	Indicadores para monitoramento ambiental e social de concessões rodoviárias e ferroviárias. Regulamentado pela Resolução ANTT nº 6.057/2024.	Avaliar desempenho ambiental e social das concessões rodoviárias e ferroviárias	Governança ambiental; Governança social; Emissões de GEE; Eficiência energética; Gestão de água, resíduos; Adaptação e biodiversidade.	Abordagem ambiental e social ampla. Produto em desenvolvimento, substituirá o IDA.
ANTAQ - Indicador de Desempenho Ambiental (IDA) Portuário	Instrumento técnico para avaliação da gestão ambiental dos portos organizados.	Medir performance ambiental portuária de forma sistemática e comparável.	Gestão ambiental integrada às operações; Educação ambiental e integração comunitária; Monitoramento físico-químico; Preservação da biodiversidade.	Foco em gestão ambiental; riscos climáticos não abordados diretamente.
ANAC - Programa Aeroportos Sustentáveis	Trata-se de um instrumento de incentivo não regulatório que conta com a adesão voluntária dos aeroportos, que são avaliados quanto à aderência de suas iniciativas aos critérios do programa.	Acompanhar o desenvolvimento da gestão ambiental em aeroportos e disseminar as iniciativas sustentáveis adotadas pelos operadores aeroportuários, promovendo a redução dos impactos da aviação civil sobre o meio ambiente.	Sustentabilidade; Gestão ambiental; Impactos socioambientais.	Foco em gestão ambiental; riscos climáticos não abordados diretamente.
Plano Clima - Mitigação (MMA)	Parte do Plano Setorial de Transportes voltada à redução de emissões de GEE. Atualmente, está em fase de consulta pública.	Monitorar o alinhamento do setor de transportes com metas nacionais de mitigação climática.	Identificação de riscos climáticos prioritários por modal; Definição dos objetivos e estratégia nacional e objetivos setoriais de adaptação climática.	Não identifica trechos/segmentos críticos por risco climático. Foco na estratégia de adaptação e não na avaliação de impactos da mudança do clima.
Plano Clima - Adaptação (MMA)	Parte do Plano Setorial de Transportes voltada à preparação das infraestruturas para impactos da mudança do clima. Atualmente, está em fase de consulta pública.	Desenvolver estratégias e metas para aumentar a resiliência da infraestrutura de transportes.	Em fase de elaboração; abordagem prevista inclui integração com planos setoriais e avaliação de vulnerabilidades.	Ausência de indicadores definidos; necessidade de maior detalhamento técnico e integração com riscos físicos.

Taxonomia Sustentável Brasileira	Integração dos compromissos do setor de transportes à Taxonomia Sustentável Brasileira, com foco em priorização e indução de investimentos sustentáveis.	Utilizar indicadores como ferramentas de priorização e indução de investimentos sustentáveis, além de monitoramento.	Indicadores de impacto ambiental e social; ferramentas para priorização de investimentos; alinhamento com metas climáticas.	Necessidade de maior detalhamento técnico e integração com planos setoriais existentes. Não lida com dados especializados, o foco é aprovação da sustentabilidade em produtos financeiros
Diretrizes Interministeriais de Sustentabilidade (Portaria Interministerial nº 2/2025)	Referência normativa que orienta a escolha de indicadores sustentáveis no setor de transportes.	Garantir que os indicadores utilizados estejam alinhados às diretrizes interministeriais de sustentabilidade.	Diretriz 2 - Mudança do Clima - Fomentar ações relacionadas à mudança do clima na infraestrutura e nos serviços de transportes.	Portaria recente (maio/2025); necessidade de consolidação e operacionalização dos critérios nos projetos em andamento.
Estratégia Brasil 2050	Estratégia Nacional de Longo Prazo, no âmbito da Secretaria Nacional de Planejamento (MPO)	Busca garantir uma maior previsibilidade na atuação governamental, melhora do ambiente de negócios e aumento da transparência.	Desenvolvimento econômico; sustentabilidade socioambiental e climática; Definição de indicadores-chave e indicadores e metas dos objetivos.	Iniciativa recente - Projeto iniciou estruturação em abril de 2024; Indicadores e metas ainda estão em construção.

Os sistemas de indicadores atualmente utilizados no setor de transportes no Brasil ainda não incorporam, de forma sistemática e estruturada, os riscos associados à mudança do clima. As únicas exceções são: (i) o Adapta Brasil, que busca identificar segmentos/pontos de maior exposição ao agravamento de eventos extremos, mas sem avaliar as consequências e impactos (ex.: carregamento de commodities potencialmente afetado pela paralisação dos trechos com risco climático elevado); e (ii) o Programa de Sustentabilidade para as rodovias e ferrovias concedidas (Resolução ANTT nº 6.057/2024), que busca promover a resiliência climática, mas ainda está em processo de detalhamento técnico e se refere unicamente às concessões de rodovias e ferrovias, não alcançando os demais modos de transporte e nem as infraestruturas construídas e mantidas pelo poder público. Nas demais iniciativas, as relações de risco e impacto das infraestruturas logísticas aparecem apenas de maneira pontual ou indireta, geralmente vinculados a componentes ambientais mais amplos como as emissões de gases de efeito estufa, eficiência energética, gestão de recursos hídricos ou preservação da biodiversidade.

Nesse contexto, destaca-se a importância estratégica da iniciativa liderada pelo Ministério dos Transportes para incorporar indicadores de risco climático no PNL 2050. A iniciativa pretende incorporar indicadores que avaliem não apenas a exposição atual da rede logística nacional aos efeitos da mudança do clima e seu potencial impacto sobre transporte de cargas e pessoas, mas também avaliar cada projeto proposto para inclusão no plano. Além disso, busca estimar o

impacto desses projetos sobre os indicadores de sustentabilidade no cenário-meta de 2050, incorporando de forma inédita a perspectiva da adaptação climática à metodologia de avaliação e priorização de projetos no setor.

EXPERIÊNCIA INTERNACIONAL

Apesar dos avanços recentes, ainda são limitadas, em escala global, as metodologias estruturadas e sistematizadas para avaliar e liberar investimentos em infraestrutura que integrem, de forma operacional, as múltiplas dimensões da mudança do clima, especialmente no que diz respeito à adaptação. Até recentemente, o foco predominante esteve na mitigação, com ênfase nas emissões de GEE, geralmente tratadas como externalidades monetizáveis em análises de custo-benefício. A integração de riscos climáticos físicos, como variabilidade extrema e eventos catastróficos, começou a ganhar espaço apenas nas últimas décadas, impulsionada pelo agravamento dos impactos observados e pela consolidação científica dos relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC).

A presente análise está dividida em dois grupos principais. O primeiro foca em experiências nacionais através de casos da Irlanda, Escócia, Austrália, Canadá, Estados Unidos, Nova Zelândia e Reino Unido, que oferecem subsídios valiosos para a construção de indicadores aplicáveis ao PNL 2050. Esses modelos foram selecionados por sua capacidade de integrar dimensões de risco climático, vulnerabilidade e adaptação, com diferentes níveis de maturidade técnica e institucional. Essas iniciativas estão sistematizadas na Tabela 2.

O segundo grupo contempla iniciativas e diretrizes promovidas por organismos internacionais e multilaterais, como a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), a Comissão Europeia e os protocolos operacionais de bancos de desenvolvimento, como o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID). Essas abordagens têm promovido avanços importantes na incorporação da variável climática em políticas públicas e decisões de investimento, embora em muitos países ainda estejam em fase inicial, sendo aplicadas de forma parcial, experimental ou ad hoc. A sistematização dessas iniciativas será apresentada na Tabela 3.

Tabela 2 – Resumo das iniciativas internacionais avaliadas para subsidiar os indicadores do PNL 2050

Iniciativa	Descrição	Objetivo	Tópicos de interesse	Pontos positivos	Limitações
Indicadores de Adaptação Climática (Irlanda, 2024)	Modelo estruturado pela <i>Environmental Protection Agency</i> com quatro categorias de indicadores.	Avaliar riscos climáticos e retorno de medidas de adaptação no setor de transportes.	Indicadores de ameaça climática, impacto, implementação e resultado.	Estrutura clara e sequencial; permite avaliação de efetividade das ações de adaptação.	Necessidade de adaptação ao contexto brasileiro e integração com planejamento logístico.

Indicadores Estratégicos de Adaptação (Escócia)	Conjunto de 11 indicadores organizados em risco, impacto e ação.	Avaliar exposição, sensibilidade e resposta da infraestrutura de transportes.	Proporção da rede exposta a inundações, número de incidentes por ameaça.	Metodologia clara e aplicável; permite priorização com base em dados objetivos.	Modelo sintético; requer detalhamento para aplicação em escala nacional.
Indicadores de Adaptação Costeira (Austrália)	Conjunto de mais de 170 indicadores para infraestrutura costeira.	Traduzir riscos climáticos em critérios técnicos para priorização de projetos.	Riscos climáticos, impactos sobre infraestrutura, ações de adaptação.	Alta granularidade; abordagem técnica detalhada para diferentes tipos de infraestrutura.	Exige simplificação para uso em planejamento nacional.
Climate Lens (Canadá)	Ferramenta obrigatória para projetos financiados com recursos federais.	Avaliar desempenho em mitigação e vulnerabilidade climática de projetos.	Risco físico, exposição geográfica, capacidade de resposta.	Integra mitigação e adaptação; orientações operativas para elaboração de relatórios.	Aplicação regional; requer adaptação para planejamento nacional integrado.
FHWA Vulnerability Assessment Framework (EUA)	Ferramenta técnica para avaliação de vulnerabilidade climática em transportes.	Identificar pontos críticos e priorizar intervenções em infraestrutura.	Cruzamento de dados climáticos com características físicas e operacionais.	Foco técnico-operacional; permite gestão de ativos e continuidade de serviços.	Limitada integração com políticas públicas amplas.
Sistema de Indicadores Estratégicos (Nova Zelândia)	Modelo articulado em cinco objetivos estratégicos, incluindo resiliência.	Integrar adaptação climática às políticas de mobilidade e acessibilidade.	Exposição a riscos, qualidade ambiental, acessibilidade.	Integração transversal da adaptação em políticas públicas.	Ausência de conjunto técnico específico sobre vulnerabilidade.
Green Book (Reino Unido, 2022)	Guia oficial para avaliação de políticas públicas e projetos governamentais.	Valorar impactos ambientais e ativos naturais como componentes do bem-estar.	Valoração de ar, água, solos, ecossistemas e capital natural.	Integra capital natural à tomada de decisão; abordagem abrangente.	Foco em políticas públicas gerais; não específico para infraestrutura de transportes.

A análise das iniciativas internacionais revela contribuições relevantes que podem ser consideradas no contexto brasileiro e incorporadas à proposta de indicadores do PNL 2050. Cada modelo apresenta abordagens específicas que, mesmo com limitações, oferecem elementos relevantes para o aprimoramento da avaliação de sustentabilidade e do risco climático no setor de transportes.

A Irlanda se destaca pela estrutura clara dos seus indicadores, destacando-se os de implementação e resultado, que permitem avaliar não apenas os riscos, mas também os efeitos das medidas de adaptação adotadas. Essa abordagem apresenta relação direta com a proposta do PNL 2050 de avaliar o impacto dos novos projetos e empreendimentos sobre os indicadores de sustentabilidade em cenário futuro, contribuindo para decisões mais informadas e eficazes. Na Escócia, o uso de indicadores como a proporção da rede exposta a inundações oferece uma base objetiva para a priorização de projetos em áreas menos vulneráveis, o que pode ser replicado no Brasil para direcionar projetos da infraestrutura de transporte com menor risco climático.

O Canadá, por meio da ferramenta *Climate Lens*, apresenta uma ferramenta de aplicação obrigatória para projetos financiados com recursos federais, integrando mitigação e adaptação climática. Essa exigência institucional fortalece a governança climática e pode inspirar mecanismos semelhantes no processo de seleção e financiamento de projetos logísticos no Brasil. A Nova Zelândia também apresenta um modelo de integração transversal da adaptação climática às políticas públicas de mobilidade, mesmo que de forma mais generalista. O Reino Unido, com o *Green Book*, adota uma abordagem abrangente que valoriza os impactos ambientais e os ativos naturais como componentes do bem-estar social e econômico. Estas experiências reforçam a importância de incorporar a resiliência climática como um eixo estruturante do planejamento logístico nacional.

Nos Estados Unidos, a ferramenta *FHWA Vulnerability Assessment Framework* permite o cruzamento de dados climáticos com características físicas e operacionais das infraestruturas. No caso do PNL 2050, essa abordagem pode ser aplicada para identificar trechos críticos combinando dados climáticos com informações do Ministério dos Transportes sobre carga transportada e fluxo de passageiros, ampliando a precisão na avaliação de riscos.

Esses exemplos internacionais demonstram que há caminhos consolidados para integrar sustentabilidade e risco climático ao planejamento de transportes. A adaptação dessas boas práticas ao contexto brasileiro pode fortalecer a base técnica do PNL 2050 e garantir maior alinhamento com os compromissos climáticos e os desafios socioambientais do país.

Tabela 3 – Resumo das iniciativas multilaterais avaliadas para subsidiar os indicadores do PNL 2050

Iniciativa	Descrição	Objetivo	Principais indicadores	Pontos positivos	Limitações
OCDE – Metodologia para Irlanda (2023)	Metodologia para incorporar impactos climáticos nas análises econômicas de projetos públicos, com foco em emissões de GEE.	Ampliar a análise custo-benefício incluindo emissões diretas, indiretas e induzidas em projetos de infraestrutura.	Pegada de carbono por fase (CAPEX/OPEX); monetização pelo custo social do carbono; indicadores complementares	Integra emissões em todas as fases do projeto; abordagem monetária; aplicável a projetos de	Foco predominante em mitigação; não aborda diretamente riscos físicos ou adaptação climática.

			(biodiversidade, saúde, poluição).	diferentes escalas.	
Comissão Europeia – Manual JASPERS/BEI/DG REGIO (2024)	Diretrizes técnicas para avaliação da resiliência climática de infraestruturas no período 2021–2027.	Avaliar sensibilidade de infraestruturas a riscos climáticos e promover adaptação.	Classificação de sensibilidade por dimensão (ativos, operações, fluxos, interdependências); escala qualitativa de 0 a 3.	Aplicável a rodovias, ferrovias e portos; estrutura em diferentes dimensões; gera índice global de sensibilidade.	Classificação depende de julgamento especializado; abordagem qualitativa pode limitar comparabilidade.
ITF/OCDE – Guia de Resiliência em Transportes (2016)	Guia metodológico para reforçar a resiliência das infraestruturas de transporte às mudanças climáticas.	Articular vulnerabilidades, riscos e desempenho; impactos climáticos de longo prazo.	35 KPIs; análise custo-benefício sob incerteza; referência ao projeto EWENT.	Foco na conservação e resiliência da infraestrutura; relaciona a avaliação de vulnerabilidades com a gestão de riscos e objetivos	Não apresenta marco conceitual consolidado; indicadores dispersos e não padronizados.
BID – Climate Risk Assessment (CRA) e NDC Invest	Instrumentos para avaliação de risco climático em projetos de infraestrutura financiados na América Latina.	Integrar riscos físicos das mudanças climáticas nos projetos de transporte.	Dias de interrupção por eventos extremos; custo de manutenção com/sem adaptação; conectividade de comunidades vulneráveis.	Integra risco climático como condição de financiamento; abordagem regional aplicada.	Ausência de conjunto padronizado de indicadores; depende de contexto específico de cada projeto.
Banco Mundial – Moving Toward Climate-Resilient Transport (2015)	Abordagem estruturada para incorporar resiliência climática em projetos de transporte.	Planejar, implementar e recuperar infraestruturas resilientes ao clima.	Triagem de riscos climáticos; classificação por exposição, impacto e capacidade adaptativa.	Integra resiliência em todo o ciclo do projeto; inclui capacitação e financiamento.	Foco em diretrizes gerais; aplicação depende de ferramentas específicas por país.
CDRI – Global Infrastructure Risk Model and Resilience Index (GIRI)	Plataforma interativa para avaliação e priorização de investimentos com base em riscos climáticos e físicos.	Apoiar decisões estratégicas com base em risco físico e valor socioeconômico dos ativos.	Índice de exposição de infraestrutura crítica; sobreposição com dados socioeconômicos; estimativas de	Análise geoespacial integrada; permite avaliação agregada por setor ou região.	Necessita dados detalhados e georreferenciados; complexidade técnica pode limitar replicação.

			perda econômica média anual (AAL).		
--	--	--	---------------------------------------	--	--

Alguns dos conceitos das iniciativas multilaterais podem ser considerados para avaliação de sustentabilidade e risco climático no setor de transportes no contexto brasileiro. A metodologia da OCDE para a Irlanda (2023) propõe a inclusão das emissões de GEE em todas as fases dos projetos, por meio da monetarização da pegada de carbono dos projetos. Nesse sentido, pode-se avaliar possíveis indicadores que relacionem emissões e investimentos em estratégias de descarbonização, permitindo avaliar o impacto climático dos empreendimentos ao longo do tempo e apoiar decisões mais alinhadas com metas de mitigação do setor.

A proposta da Comissão Europeia (JASPERS/BEI/DG REGIO, 2024) contribui com uma estrutura de avaliação da sensibilidade climática das infraestruturas, considerando múltiplas dimensões como ativos físicos, operações e interdependências. Essa abordagem pode ser adaptada para determinados indicadores qualitativos, como a existência de rotas alternativas em trechos com risco climático elevado. Já o guia do ITF/OCDE (2016) reforça a articulação entre vulnerabilidades, riscos e objetivos de desempenho, além da gestão da incerteza climática de longo prazo. Essa abordagem pode ser útil para relacionar a implantação de projetos de infraestrutura com a redução do risco climático, contribuindo para a resiliência da malha logística.

A experiência do BID, por meio dos instrumentos como o *Climate Risk Assessment (CRA)* e a iniciativa *NDC Invest*, destaca o uso de indicadores operacionais como dias de interrupção por eventos extremos e custos de manutenção com e sem adaptação climática das infraestruturas. No contexto brasileiro, pode-se considerar os dados disponíveis sobre carregamento e fluxo logístico, permitindo estimar os impactos de paralisações em trechos com risco climático sobre o desempenho da rede.

CONCLUSÕES E LIÇÕES APRENDIDAS

A releitura das experiências internacionais e multilaterais permite identificar um conjunto de lições a serem consideradas para a construção dos indicadores de sustentabilidade e risco climático no setor de transportes do Brasil. Os modelos analisados evidenciam uma predominância de parâmetros organizados em três dimensões fundamentais: os perigos climáticos (como tempestades, inundações fluviais, ondas de calor, elevação do nível do mar e ventos extremos); a exposição e sensibilidade das infraestruturas a esses perigos (incluindo vulnerabilidade física das infraestruturas e intensidade de uso); e a capacidade adaptativa, ou seja, a possibilidade de reduzir riscos por meio de investimentos e medidas técnicas.

Embora cada modelo apresente abordagens específicas e limitações, foram identificados conceitos relevantes para o aprimoramento da avaliação de sustentabilidade e risco climático no setor de transportes. A estrutura dos indicadores de implementação e impacto da **Irlanda**, por exemplo, permite avaliar não apenas os riscos, mas também os efeitos das medidas de

adaptação adotadas, alinhando-se diretamente à proposta do PNL 2050 de mensurar o impacto dos projetos sobre os indicadores de sustentabilidade em cenários futuros. Ainda, a **metodologia da OCDE para a Irlanda** propõe a monetarização da pegada de carbono em todas as fases dos projetos, o que pode inspirar indicadores que relacionem emissões e investimentos em estratégias de descarbonização.

A experiência da **Escócia** contribui com indicadores quantitativos, como a proporção da rede exposta a inundações, que podem ser utilizados para priorizar projetos em áreas menos vulneráveis. O **Canadá**, com a ferramenta *Climate Lens*, apresenta uma abordagem institucional robusta ao exigir avaliação climática como condição para financiamento, integrando mitigação e adaptação. Já a **Nova Zelândia e o Reino Unido** reforçam a importância de incorporar a resiliência climática como eixo estruturante do planejamento logístico, seja por meio da transversalidade nas políticas públicas ou pela valoração dos impactos ambientais e ativos naturais como componentes do bem-estar social e econômico.

Nos **Estados Unidos**, a ferramenta FHWA *Vulnerability Assessment Framework* permite cruzar dados climáticos com características físicas e operacionais das infraestruturas. A experiência do **BID** também considera indicadores operacionais associados ao risco climático, como dias de interrupção e custos de manutenção com e sem adaptação. Essas abordagens podem ser adaptadas ao contexto do PNL 2050 para identificar trechos críticos, combinando dados climáticos com informações do Ministério dos Transportes sobre carga transportada e fluxo de passageiros.

Por fim, a Comissão Europeia, por meio do **manual JASPERS**, propõe uma estrutura de avaliação da sensibilidade climática com múltiplas dimensões, que pode ser adaptada ao contexto brasileiro por meio de indicadores qualitativos, como a existência de rotas alternativas em trechos com risco elevado. O guia do **ITF/OCDE** reforça a articulação entre vulnerabilidades, riscos e objetivos de desempenho, útil para relacionar a implantação de projetos com a redução do risco climático.

Entre as diferentes ações que têm sido promovidas nessa pauta no Brasil, o Ministério dos Transportes tem avançado na incorporação de indicadores socioambientais na fase de diagnóstico do PNL 2050, com foco nas componentes de mitigação, em relação a intensidade de emissões de GEE da malha, e nos impactos sobre comunidades e patrimônio natural e cultural. Além disso, observa-se a importância de incorporar indicadores voltados à adaptação climática. A análise das experiências internacionais demonstra que indicadores de adaptação são essenciais para avaliar a exposição, sensibilidade e capacidade de resposta das infraestruturas frente a eventos extremos. Incorporar indicadores voltados para adaptação climática ao PNL 2050 permitirá não apenas identificar trechos críticos e vulneráveis, mas também orientar investimentos em projetos que aumentem a resiliência da malha logística nacional, contribuindo para decisões mais eficazes sobre novos projetos e empreendimentos, alinhadas aos compromissos climáticos do país.

PARTE B. INDICADORES DE MUDANÇA DO CLIMA

A construção de indicadores de mudanças climáticas para o setor de transportes no Brasil, no âmbito do PNL 2050, parte da necessidade de incorporar de forma estruturada a variável climática ao planejamento e à priorização de investimentos em infraestrutura. Nesse contexto, os riscos climáticos são abordados por meio de dois grupos principais de indicadores: indicadores de mitigação e indicadores de adaptação. Essa abordagem permite avaliar tanto a eficiência do sistema em reduzir suas emissões de GEE, quanto sua capacidade de se preparar para os impactos físicos das mudanças climáticas.

PROPOSTA DE INDICADORES DE MITIGAÇÃO

Para os indicadores do grupo de mitigação, os dois primeiros indicadores são: intensidade de emissões de GEE por unidade de transporte (CO₂ por TKU), que busca avaliar a eficiência do sistema em termos de emissões por tonelada transportada, e o indicador de emissões de CO₂ por real investido, que permite analisar a efetividade da estratégia de descarbonização em relação aos recursos aplicados. Esse último indicador é especialmente relevante para orientar decisões de investimento, pois, em cenários de aumento das emissões, indica a necessidade de ampliar os aportes em projetos de baixa emissão. As informações necessárias para o cálculo desses indicadores – emissões anuais de CO₂, TKU anual e valores de investimento em projetos de baixo carbono – serão produzidas no âmbito da governança do Planejamento Integrado de Transportes (PIT), instituído pelo Decreto nº 12.022/2024.

O terceiro indicador é a pegada de carbono do ciclo de vida da infraestrutura de transportes, que busca avaliar as emissões associadas tanto à fase de implantação (CAPEX) quanto à operação e manutenção (OPEX). Essa abordagem amplia a análise de mitigação, evitando que projetos que aparentem eficiência apenas na fase operacional sejam priorizados, quando, na verdade, podem apresentar alta intensidade de carbono durante a sua construção. As estimativas de emissões podem ser realizadas com base em fatores médios de emissão por material (por exemplo, ton CO₂/ton de cimento, aço, asfalto), utilizando dados produzidos no âmbito da governança do PIT para estimativa do consumo de materiais nos projetos.

A atualização dos indicadores climáticos varia conforme o tipo de informação considerada. Os indicadores de mitigação climática, como as emissões de GEE e investimentos em projetos de descarbonização da malha logística, são atualizados anualmente, com base na consolidação dos inventários de emissões e relatórios setoriais.

A maior parte das bases consideradas para os indicadores propostos possui dados georreferenciados, permitindo análises com diferentes níveis de granularidade, por tipo de modal (rodoviário, ferroviário, hidrovial, portuário e aeroviário) e corredor logístico, por recorte territorial (estadual, regional e nacional) e biomas, o que viabiliza uma avaliação espacial detalhada dos riscos e oportunidades relacionados à agenda climática no setor de transportes.

A Tabela 4 apresenta os indicadores de mitigação propostos, a fórmula de cálculo, suas descrições e os modais aos quais se aplicam.

Tabela 4 – Proposta de indicadores de mitigação da mudança do clima no PNL 2050

Indicador	Fórmula de cálculo	Descrição	Modais aplicáveis
Emissões de CO ₂ por TKU	Emissões Anuais de CO ₂ (ton CO ₂) / TKU anual (toneladas transportadas*km)	Mede a intensidade de emissões de CO ₂ por tonelada útil transportada por quilômetro. 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.	Rodoviário Ferroviário Aquaviário Aeroportuário
Emissões de CO ₂ por R\$ investido	Emissões Anuais de CO ₂ (ton CO ₂) / Investimento anual (R\$)	Avalia a relação entre emissões de CO ₂ e os recursos financeiros aplicados. Representa priorização de modais e tecnologias de menor emissão de GEE. É possível aumentar mais o investimento do que as emissões de GEE, reduzindo o indicador para o cenário-meta.	Rodoviário Ferroviário Aquaviário Aeroportuário
Pegada de Carbono do Ciclo de Vida da Infraestrutura de Transporte	Emissões do Ciclo de Vida de infraestrutura construída/operada (ton CO ₂) / extensão da malha (km)	Soma das emissões de GEE geradas nas fases de construção (CAPEX) e operação/manutenção da infraestrutura. Permitir que projetos de grande porte (novas rodovias, ferrovias, portos, aeroportos) sejam comparados não só pela eficiência operacional, mas também pelo impacto total em emissões ao longo da vida útil.	Rodoviário Ferroviário Aquaviário Aeroportuário

PROPOSTA DE INDICADORES DE ADAPTAÇÃO

Os indicadores de adaptação climática têm como objetivo avaliar a vulnerabilidade da infraestrutura frente ao agravamento dos eventos extremos associados às mudanças do clima. Com base nas análises realizadas e nas referências internacionais estudadas, propõe-se um marco conceitual que organiza os indicadores de adaptação à mudança do clima em quatro categorias complementares: (i) exposição, (ii) sensibilidade, (iii) implementação e (iv) produto.

Essa estrutura reflete metodologias observadas em experiências internacionais, como nos casos da Irlanda, Austrália, Escócia e Canadá, que organizam os riscos climáticos com base na interação entre a exposição aos perigos (*hazards*), a sensibilidade das infraestruturas (vulnerabilidade física e funcional) e as respostas institucionais que ampliam a capacidade adaptativa. A proposta brasileira avança ao integrar esses conceitos com a realidade operacional do setor, considerando também a criticidade funcional das infraestruturas e os benefícios esperados das intervenções adaptativas.

A abordagem proposta é compatível com iniciativas já conduzidas pelo Ministério dos Transportes, como o estudo AdaptaVias e os trabalhos do Plano Estratégico para gestão do Plano Setorial de Parcerias Rodoviárias (2023), representando uma continuidade metodológica orientada ao aperfeiçoamento dos marcos previamente estabelecidos. O avanço está na

sistematização e aplicação contínua dos indicadores no âmbito do PNL 2050, com base em dados públicos e metodologias replicáveis, permitindo análises em diferentes escalas territoriais e ao longo do tempo.

Também busca-se incorporar o conceito de interdependência entre infraestruturas, conforme sugerido na metodologia JASPERS da Comissão Europeia. Essa abordagem permite avaliar não apenas o risco climático de cada ativo isoladamente, mas também os efeitos em cadeia que podem ocorrer em sistemas multimodais. Considerar essas interdependências é essencial para identificar ativos cujas interrupções teriam maior impacto operacional e econômico, permitindo a priorização de investimentos com base em riscos sistêmicos e criticidade funcional.

A seguir, na Tabela 5, apresenta-se a tipologia de indicadores de adaptação à mudança do clima propostos, estruturada nas quatro categorias mencionadas. Esses indicadores permitem avaliar desde a localização das infraestruturas em áreas de risco climático, passando pela sua vulnerabilidade e capacidade de resposta, até os potenciais impactos esperados e os benefícios das medidas de adaptação.

Importante ressaltar que todas as quatro categorias (exposição, sensibilidade, implementação e produto) serão trabalhadas no âmbito do PIT, porém em instrumentos de planejamento diferentes: o PNL 2050 focará nas duas primeiras categorias (exposição e sensibilidade), que são essenciais para as etapas de diagnóstico da atual malha de transportes e de seleção de projetos futuros, ao passo que as categorias de implementação e produto serão objeto de maior detalhamento no nível dos Planos Setoriais, quando intervenções específicas para adaptação climática serão avaliadas e priorizadas.

Tabela 5 – Categorias de indicadores de adaptação à mudança do clima propostos para o ciclo 2024-2027 do PIT

Categoria	Descrição	Objetivo
1. Indicadores de Exposição	Avaliam a probabilidade de ocorrência de eventos climáticos extremos em áreas onde se localizam infraestruturas de transporte. São construídos a partir de variáveis climatológicas (chuva intensa, temperatura extrema, vento, entre outros) e permitem identificar trechos críticos sujeitos a inundações, deslizamentos, erosão ou secas. A sobreposição entre áreas de risco e a malha de transportes gera métricas como o total de quilômetros expostos e a identificação de projetos com alta vulnerabilidade climática.	Identificar trechos da malha com maior risco climático e orientar políticas de adaptação. Permitem comparar cenários (base e meta) e evidenciar melhorias, como redução de trechos expostos ou aumento da redundância viária.
2. Indicadores de Sensibilidade	Medem os impactos potenciais sobre o sistema de transporte em caso de falha da infraestrutura por evento climático. Consideram tanto os efeitos diretos (volume de tráfego afetado, perdas de tempo) quanto os efeitos indiretos (capacidade de redistribuição do tráfego por rotas alternativas). A ausência de redundância pode levar	Avaliar a gravidade dos impactos em trechos críticos e orientar ações de planejamento para garantir continuidade operacional e minimizar prejuízos à mobilidade e à economia.

	à interrupção de serviços e altos custos socioeconômicos.	
3. Indicadores de Implementação	Estimam os custos necessários para adaptar as infraestruturas às mudanças climáticas. Incluem investimentos em obras específicas, reforço na manutenção preventiva, estudos técnicos, auditorias e medidas de segurança. Podem ser calculados por corredor logístico, considerando o custo-benefício das intervenções.	Priorizar investimentos em adaptação com base na relação entre custo e efetividade, promovendo alocação eficiente de recursos. Essa priorização será feita no âmbito dos Planos Setoriais.
4. Indicadores de Produto	Representam os benefícios obtidos com a implementação de políticas e projetos de adaptação. Embora de difícil mensuração, incluem custos evitados com a não ocorrência de danos, tempo economizado pelos usuários e redução de perdas econômicas. Refletem o aumento da resiliência da infraestrutura frente aos riscos climáticos.	Demonstrar os ganhos da adaptação em termos de segurança, eficiência e economia, contribuindo para justificar e fortalecer as políticas públicas voltadas à resiliência climática.

A aplicação coordenada dessas quatro categorias de indicadores no âmbito do PIT possibilita uma visão integrada do risco climático e da capacidade adaptativa, favorecendo a formulação de políticas públicas e investimentos mais eficazes, sustentáveis e alinhados às melhores práticas internacionais.

A atualização dos indicadores climáticos varia conforme o tipo de informação considerada. Os indicadores de adaptação climática, que avaliam riscos como o volume de carregamentos ou o fluxo de pessoas em trechos sujeitos a eventos climáticos extremos, dependem da frequência de atualização das bases de dados de origem e destino (OD), disponibilizadas pelo Ministério dos Transportes.

A maior parte das bases consideradas para os indicadores propostos possui dados georreferenciados, permitindo análises com diferentes níveis de granularidade, por tipo de modal (rodoviário, ferroviário, hidroviário, portuário e aeroviário) e corredor logístico, por recorte territorial (estadual, regional e nacional) e biomas, o que viabiliza uma avaliação espacial detalhada dos riscos e oportunidades relacionados à agenda climática no setor de transportes.

A primeira dimensão considerada neste grupo é a exposição da malha de transportes, que busca avaliar a proporção da malha ou da infraestrutura localizada em áreas de risco climático, contribuindo para o planejamento de medidas de adaptação e para a priorização de investimentos em regiões menos vulneráveis.

A análise de exposição climática da malha de transportes prioriza as ameaças consideradas mais relevantes para os diferentes modais. Para rodovias, ferrovias e aeroportos, destacam-se os riscos associados ao agravamento de inundações fluviais e deslizamentos de terra, que

possuem maior potencial de interrupção direta da operação e comprometimento da infraestrutura. Os incêndios florestais, embora também relevantes, apresentam menor frequência de impacto direto sobre a continuidade operacional, sendo considerados principalmente pelo risco à integridade física da infraestrutura e à segurança das áreas adjacentes. Para as hidrovias, a principal ameaça climática considerada é o agravamento de secas meteorológicas, que afeta diretamente a navegabilidade e a eficiência logística, podendo comprometer rotas e operações em períodos críticos.

A Tabela 6 apresenta os indicadores de exposição propostos, com a indicação dos modais aos quais se aplicam.

Tabela 6 – Proposta de indicadores de exposição para o grupo de adaptação às mudanças do clima no PNL 2050

Indicador	Fórmula de cálculo	Descrição	Modais aplicáveis
Percentual da malha ferroviária e rodoviária exposta ao agravamento de eventos de inundações fluviais e deslizamentos de terra	Extensão da malha em áreas de risco climático (km) / Extensão total da malha (km)	Mede a proporção da malha terrestre localizada em áreas suscetíveis a eventos climáticos extremos. A expansão da rede em áreas menos vulneráveis pode reduzir o valor do indicador no cenário-meta.	Rodoviário Ferroviário
Percentual de aeroportos/portos expostos ao agravamento de eventos de inundações fluviais e deslizamentos de terra	Quantidade de aeroportos/portos em áreas de risco climático / Quantidade total de aeroportos/portos	Avalia a vulnerabilidade da infraestrutura portuária e aeroviária frente a eventos climáticos extremos, considerando sua localização em áreas de risco.	Portuário Aeroviário
Percentual de hidrovias expostas ao agravamento de eventos de secas meteorológicas	Extensão de hidrovias em áreas de agravamento de secas (km) / Extensão total de hidrovias (km)	Indica a exposição da malha hidroviária a eventos de seca que podem comprometer a navegabilidade e a operação logística.	Hidroviário

Os indicadores de exposição da malha de transportes ao agravamento de eventos climáticos extremos serão calculados por meio de modelagem climática baseada nos cenários do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). O IPCC considera como cenário climático a combinação de diferentes trajetórias de emissão e concentração de gases de efeito estufa – RCPs (do inglês, *Representative Concentration Pathways*) – com diferentes trajetórias de desenvolvimento socioeconômico – SSPs (do inglês, *Shared Socio-economic Pathways*).

Para a análise de exposição da infraestrutura de transportes aos eventos extremos da mudança do clima, foram considerados dois cenários climáticos do IPCC: SSP3-7.0 e SSP5-8.5. O cenário SSP3-7.0 representa uma trajetória de altas emissões, com políticas fragmentadas e desafios significativos de mitigação, prevendo a duplicação das emissões de CO₂ até 2100. Já o SSP5-8.5

é o mais crítico, caracterizado por um crescimento contínuo das emissões ao longo do século, com aumento da temperatura média global possivelmente superando 2 °C já em meados de 2050. A escolha desses cenários se justifica pela necessidade de avaliar a exposição da malha de transportes em contextos de maior aquecimento global, nos quais os eventos extremos tendem a se intensificar, exigindo maior capacidade de adaptação e resiliência da infraestrutura.

É importante destacar que os cenários climáticos utilizados, assim como outros cenários, não constituem previsão meteorológica do futuro, mas sim projeções do que pode acontecer, criando descrições plausíveis, coerentes e internamente consistentes de possíveis mudanças do clima, a partir de níveis de emissão e concentração de GEE, alteração do uso do solo, variáveis demográficas e políticas climáticas, por exemplo. O intuito da modelagem é verificar tendências climáticas, ou seja, entender as variações consideradas normais no território e, a partir desse comportamento climático, descrever como o histórico recente e os cenários futuros se comportam.

A modelagem para inundações fluviais considera variáveis como o Rx1day, que representa o máximo de precipitação em um único dia; o R95p, que corresponde à precipitação total anual dos dias em que se excedeu o percentil 95; e o RXXmm, que indica o número de dias no ano com precipitação diária considerada *outlier*. Esses dados são combinados com o Índice Morfométrico (IM), que incorpora parâmetros como a ordem dos cursos d'água, a declividade do terreno e as distâncias vertical e horizontal em relação aos corpos hídricos, permitindo identificar trechos com maior suscetibilidade a inundações.

Para os deslizamentos de terra, a modelagem utiliza o Rx5day, que representa o máximo de precipitação acumulada em cinco dias consecutivos; o RXXmm, referente ao número de dias com precipitação extrema; e o CWD, que indica o número máximo de dias consecutivos com chuva acima de 1 mm. Esses indicadores são integrados ao Índice de Susceptibilidade do Solo (ISS), calculado com base na inclinação e declividade do terreno, além de mapas de uso e ocupação do solo, possibilitando a identificação de áreas com maior risco de escorregamentos.

A modelagem da exposição da infraestrutura de transportes aos incêndios florestais considera variáveis climáticas que indicam condições favoráveis à ocorrência e propagação do fogo. São utilizados o CDD, que representa a sequência máxima de dias secos; o TX90p, que indica dias com temperaturas acima do 90º percentil; e o UR10p, que representa dias com umidade relativa abaixo do 10º percentil. Esses dados são integrados a informações de uso e ocupação do solo e ao Modelo Digital de Elevação (MDE), permitindo identificar áreas com maior suscetibilidade a incêndios com base nas condições meteorológicas e nas características do território.

No caso das hidrovias, a exposição é avaliada com base na probabilidade de ocorrência de secas meteorológicas, considerando a redução da disponibilidade hídrica e seus impactos sobre a navegabilidade. São considerados a média anual de precipitação (PRTOT) na região, o coeficiente de variação da precipitação (CV), que expressa a irregularidade na distribuição das chuvas, e o CDD, que representa a sequência máxima de dias secos no período analisado.

A partir dos indicadores de exposição às ameaças climáticas, apresenta-se a seguir a Tabela 7, com os indicadores que visam avaliar a sensibilidade dos sistemas de transporte em caso de ocorrência de eventos climáticos extremos nos trechos previamente identificados, ou seja, que

apresentaram algum grau de ocorrência de risco climático. Esses indicadores têm como objetivo mensurar o volume de carregamentos que pode ser potencialmente afetado, considerando tanto os fluxos associados ao corredor de exportação de commodities quanto ao de mercado doméstico e de integração territorial, incluindo o transporte de pessoas. A avaliação é realizada por meio da sobreposição dos trechos críticos identificados nos indicadores de exposição apresentados na Tabela 6, com as informações de carregamento de *commodities*, como minério de ferro, soja, óleo bruto, milho e açúcar, bem como de produtos consumidos internamente e de fluxo de passageiros, conforme dados produzidos no âmbito do PIT referentes às matrizes origem-destino (OD) do PNL.

Serão considerados potencialmente afetados os carregamentos localizados em trechos em que há risco de agravamento de deslizamentos de terra e inundações fluviais, no caso de rodovias e ferrovias, e de secas meteorológicas, no caso das hidrovias. Os incêndios florestais não são considerados para ferrovias e rodovias, pois não estão diretamente associados à paralisação da operação de transporte no trecho exposto. Essa abordagem permite estimar a produtividade comprometida em diferentes corredores logísticos, contribuindo para o planejamento de ações de adaptação e priorização de investimentos em infraestrutura resiliente. Quanto ao transporte de passageiros, os indicadores orientam estratégias de adaptação para garantir a segurança do transporte de passageiros. A redução dos indicadores pode ser alcançada com a priorização de rotas em regiões menos críticas ou com a diversificação modal.

Tabela 7 – Proposta de indicadores de sensibilidade para o grupo de adaptação às mudanças do clima no PNL 2050

Indicador	Fórmula de cálculo	Descrição	Modais aplicáveis
Percentual de carregamento de commodities em risco climático de deslizamentos de terra	Quantidade de carregamento de commodities em trechos de risco climático (ton) / Total de commodities transportadas (ton)	Mede a proporção do volume de cargas estratégicas (minério de ferro, soja, óleo bruto, milho e açúcar) transportadas por rodovias e ferrovias em áreas suscetíveis a deslizamentos. A redução do indicador no cenário-meta pode ser alcançada com a priorização de rotas em regiões menos críticas.	Rodoviário Ferroviário
Percentual de carregamento de commodities em risco climático de inundações fluviais	Quantidade de carregamento de commodities em trechos de risco climático (ton) / Total de commodities transportadas (ton)	Avalia a exposição do transporte de cargas estratégicas em rodovias e ferrovias a áreas com risco de inundações fluviais. A mitigação do indicador envolve a necessidade de adaptação ou redirecionamento de fluxos para trechos menos vulneráveis.	Rodoviário Ferroviário

Percentual de carregamento de commodities em risco climático de secas meteorológicas	Quantidade de carregamento de commodities em trechos de risco climático (ton) / Total de commodities transportadas (ton)	Indica a vulnerabilidade do transporte hidroviário de cargas estratégicas em regiões sujeitas ao agravamento de secas, que podem comprometer a navegabilidade. A redução do indicador depende da diversificação de rotas e da adaptação da infraestrutura.	Hidroviário
Percentual de carregamento de produtos consumidos no país em risco climático de deslizamentos de terra	Quantidade de carregamento de produtos em trechos de risco climático (ton) / Total de produtos consumidos transportados (ton)	Mede a proporção do transporte de produtos voltados ao consumo interno que ocorre em rodovias e ferrovias expostas a deslizamentos. O indicador orienta estratégias de adaptação para garantir a segurança do abastecimento nacional.	Rodoviário Ferroviário
Percentual de carregamento de produtos consumidos no país em risco climático de inundações fluviais	Quantidade de carregamento de produtos em trechos de risco climático (ton) / Total de produtos consumidos transportados (ton)	Avalia a parcela do transporte de produtos voltados ao consumo interno que ocorre em rodovias e ferrovias em áreas suscetíveis a inundações, permitindo estimar o risco à continuidade do abastecimento.	Rodoviário Ferroviário
Percentual de carregamento de produtos consumidos no país em risco climático de secas meteorológicas	Quantidade de carregamento de produtos em trechos de risco climático (ton) / Total de produtos consumidos transportados (ton)	Mede a proporção do transporte hidroviário de produtos voltados ao consumo interno em regiões suscetíveis a secas, com foco na avaliação de riscos à continuidade logística em períodos críticos.	Hidroviário
Percentual do fluxo de passageiros em risco climático de deslizamentos de terra	Quantidade pessoas transportadas em trechos de risco climático (RPK) / Total de pessoas transportadas (RPK)	Mede a proporção do transporte de pessoas que ocorre em trechos expostos a deslizamentos.	Rodoviário Ferroviário Aeroviário
Percentual do fluxo de passageiros em risco climático de inundações fluviais	Quantidade pessoas transportadas em trechos de risco climático (RPK) / Total de pessoas transportadas (RPK)	Avalia a parcela do transporte de pessoas que ocorre em trechos suscetíveis a inundações, permitindo estimar o risco à continuidade do transporte de passageiros.	Rodoviário Ferroviário Aeroviário

Percentual do fluxo de passageiros em risco climático de secas meteorológicas	Quantidade pessoas transportadas em trechos de risco climático (RPK) / Total de pessoas transportadas (RPK)	Mede a proporção do transporte hidroviário de passageiros em regiões suscetíveis a secas, com foco na avaliação de riscos à continuidade da logística de pessoas em períodos críticos.	Hidroviário
---	---	--	-------------

4. INDICADORES SOCIOAMBIENTAIS

Este capítulo apresenta a proposta metodológica para avaliar, de forma articulada, os impactos socioambientais associados à implantação e à operação de infraestruturas de transporte — por meio de indicadores que consideram tanto a sensibilidade dos territórios afetados quanto à magnitude das pressões geradas pelos projetos. A abordagem busca alinhar a priorização de investimentos às diretrizes de desenvolvimento sustentável, inclusão social e proteção dos ecossistemas, promovendo decisões que integrem critérios de justiça territorial e de respeito aos direitos socioambientais.

Na Parte A deste capítulo, apresenta-se o estado da arte dos estudos e documentos nacionais e internacionais que fundamentam a proposta metodológica adotada. Em seguida, a Parte B desenvolve um marco conceitual para a incorporação dos indicadores socioambientais, acompanhado da definição específica das dimensões e variáveis consideradas.

PARTE A. AVALIAÇÃO DO ESTADO DA ARTE

EXPERIÊNCIA NO BRASIL

Esta seção apresenta um conjunto de iniciativas brasileiras que oferecem subsídios relevantes para a formulação de indicadores de sustentabilidade na malha logística nacional. As experiências selecionadas abrangem desde abordagens operacionais voltadas à valoração de impactos diretos sobre áreas protegidas até modelos mais abrangentes de análise integrada de riscos e externalidades, como os critérios propostos para o Plano Plurianual (PPA) e o Programa de Parcerias de Investimentos (PPI). Também são incluídos os Planos de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento (PPCD), que trazem indicadores territoriais e ambientais com potencial de aplicação no contexto da infraestrutura logística.

A seguir, a Tabela 8 apresenta essas iniciativas, organizadas segundo seus objetivos, tópicos de interesse, pontos positivos e limitações, contribuindo para a construção de um marco técnico nacional de indicadores socioambientais no setor de transportes.

Tabela 8 – Resumo das iniciativas nacionais avaliadas para subsidiar os indicadores socioambientais no PNL 2050

Iniciativa	Descrição	Objetivo	Tópicos de interesse	Pontos positivos	Limitações
Planos de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento (PPCD – MMA, 2023)	Instrumento transversal de política pública com subprogramas específicos por bioma, voltado à contenção do desmatamento ilegal e promoção do uso sustentável dos recursos naturais.	Articular ações governamentais e da sociedade para reduzir o desmatamento e promover sustentabilidade territorial.	Compensação ambiental (área e plantios); investimentos verdes; contratos com cláusulas ambientais; tecnologias de monitoramento; proteção de territórios tradicionais.	Integração com políticas de uso do solo; abordagem territorializada por bioma; indicadores aplicáveis à infraestrutura.	Indicadores voltados à gestão ambiental ampla; necessidade de adaptação para análise específica de projetos logísticos.
Critérios para Análise e Classificação de Empreendimentos no PPA e PPI (Ibraop / IEMA / ISA, 2023)	Documento técnico para apoiar decisões sobre inclusão de projetos de infraestrutura nas agendas do PPA e PPI, com foco em justiça socioambiental.	Avaliar riscos socioambientais e socioeconômicos de empreendimentos e propor medidas de mitigação e governança territorial.	Pressões sobre territórios indígenas e comunidades tradicionais; áreas protegidas; recursos naturais; conflitos fundiários; perda de biodiversidade; emissões de GEE; bens culturais; EVTEA; externalidades e riscos socioeconômicos.	Abordagem abrangente e integrada; foco em impactos diretos e indiretos; articulação com governança territorial.	Complexidade metodológica; depende de dados detalhados e estudos prévios (EVTEA); aplicação exige capacidade técnica institucional.

As experiências brasileiras analisadas oferecem contribuições complementares e estratégicas para o desenvolvimento de indicadores socioambientais aplicáveis à malha logística nacional, no contexto de proposição de indicadores específicos para o PNL 2050. Cada uma delas aborda dimensões distintas da sustentabilidade, desde a valoração de impactos diretos sobre áreas sensíveis até a gestão integrada de riscos e externalidades socioeconômicas.

Os Planos de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento (PPCD) incorporam indicadores relacionados à compensação ambiental, investimentos sustentáveis, tecnologias de monitoramento e proteção de territórios tradicionais. Embora voltados à gestão ambiental em escala territorial, esses indicadores oferecem insumos para avaliar a sustentabilidade de projetos logísticos, especialmente em biomas com alta pressão por desmatamento. O documento de Critérios para Análise e Classificação de Empreendimentos no PPA e PPI propõe uma avaliação dos riscos socioambientais e socioeconômicos, incluindo impactos sobre comunidades tradicionais, biodiversidade, bens culturais e processos de reassentamento.

Também exige a apresentação de Estudo de Viabilidade Técnica Econômica e Ambiental (EVTEA), o que fortalece a governança territorial, mas demanda capacidade técnica e dados primários detalhados.

EXPERIÊNCIA INTERNACIONAL

A seleção das experiências foi orientada pela relevância metodológica, pela diversidade de enfoques e pela capacidade de adaptação ao contexto brasileiro, especialmente no âmbito do PNL 2050.

As iniciativas incluídas na tabela a seguir abrangem desde diretrizes conceituais voltadas à inclusão de comunidades indígenas e à valorização da pertinência cultural, como no caso do México, até estruturas técnicas robustas para avaliação de riscos ambientais e sociais, como as desenvolvidas no Nepal e pela *International Finance Corporation* (IFC). Além disso, destaca-se o caso da Colômbia, que apresenta uma metodologia detalhada e operacional para a priorização de projetos rodoviários com base em critérios ambientais e socioculturais, sendo particularmente relevante para o contexto brasileiro por sua abordagem espacial e multicritério.

Essas experiências oferecem subsídios valiosos para o desenvolvimento de indicadores que considerem não apenas os impactos físicos das infraestruturas, mas também os efeitos sobre territórios sensíveis, comunidades tradicionais, biodiversidade e patrimônio cultural. A seguir, a Tabela 9 organiza essas iniciativas segundo seus objetivos, tópicos de interesse, pontos positivos e limitações, contribuindo para o fortalecimento de uma abordagem integrada e territorialmente sensível à sustentabilidade no setor de transportes.

Tabela 9 – Resumo das iniciativas internacionais avaliadas para subsidiar os indicadores socioambientais no PNL 2050

Iniciativa	Descrição	Objetivo	Tópicos de interesse	Pontos positivos	Limitações
Guia para a Incorporação da Perspectiva dos Direitos Indígenas e Relevância Cultural (México, 2022)	Documento do Instituto Nacional dos Povos Indígenas que orienta a formulação de políticas públicas com respeito aos direitos e à cultura dos povos indígenas.	Promover planejamento participativo e culturalmente sensível, com protagonismo indígena na definição de prioridades.	Direitos territoriais; pertinência cultural; escuta ativa; valorização de saberes tradicionais.	Estrutura conceitual para inclusão de comunidades indígenas em projetos de infraestrutura.	Ausência de indicadores mensuráveis; aplicabilidade depende de processos institucionais de escuta e participação.
Marco de Gestão Ambiental e	Estrutura técnica para avaliação e gestão de riscos ambientais e	Garantir responsabilidade ambiental e social em todas as fases dos	Comunidades marginalizadas; impactos sobre agricultura, água e florestas;	Metodologia integrada e aplicável a diferentes contextos	Foco em projetos urbanos; necessidade de adaptação para contextos

Social (Nepal, 2023)	sociais em projetos urbanos e de infraestrutura, com apoio do Banco Mundial.	projetos, com atenção a grupos vulneráveis.	conflitos de uso; espécies invasoras.	territoriais; atenção a múltiplas dimensões sociais e ambientais.	logísticos e de transporte rural extensivo.
Padrões de Desempenho da IFC (Internacional, 2012)	Conjunto de normas que compõem o Marco de Sustentabilidade da IFC, voltado à gestão de riscos em projetos financiados pela instituição.	Promover desenvolvimento sustentável com respeito aos direitos humanos, ambientais e culturais.	Povos indígenas; patrimônio cultural; biodiversidade; reassentamento; saúde comunitária; uso de recursos naturais.	Normas amplamente reconhecidas e aplicadas em projetos multilaterais; abordagem abrangente e estruturada.	Indicadores podem exigir dados primários a nível de projeto.
Critérios Técnicos Ambientais para Vias Terciárias (Colômbia, 2016/2022)	Documento técnico que orienta a priorização de projetos rodoviários com base em impactos sobre ativos naturais e culturais.	Hierarquizar projetos viários com base em sensibilidade ambiental e sociocultural, por meio de pontuação objetiva.	Áreas protegidas; florestas; corredores ecológicos; fauna ameaçada; patrimônio cultural; uso do solo.	Sistema multicritério detalhado e adaptável; pontuação graduada por tipo de sobreposição; critérios eliminatórios e graduais.	Foco em vias terciárias; requer base geoespacial robusta e dados atualizados para aplicação eficaz.

As experiências internacionais analisadas oferecem subsídios relevantes para a construção de indicadores socioambientais no setor de transportes brasileiro, incluindo aspectos relacionados à proteção de territórios sensíveis, comunidades tradicionais e ativos naturais e culturais. As iniciativas apresentam diferentes níveis de contribuição para o desenvolvimento de um sistema nacional de indicadores.

A primeira iniciativa, o Guia para a Incorporação da Perspectiva dos Direitos Indígenas e Relevância Cultural (México, 2022), apresenta diretrizes conceituais fundamentais para garantir que projetos públicos respeitem os direitos dos povos indígenas e incorporem a pertinência cultural. Embora não proponha indicadores específicos, o guia oferece uma base sólida para a construção de processos participativos e culturalmente sensíveis, que podem ser incorporados ao planejamento de projetos de infraestrutura no Brasil.

As iniciativas do Marco de Gestão Ambiental e Social do Nepal (2023) e dos Padrões de Desempenho da IFC (2012) avançam na definição de indicadores e critérios técnicos para avaliação de impactos socioambientais. Ambas propõem metodologias estruturadas para identificar riscos sobre comunidades vulneráveis, recursos naturais e patrimônio cultural, com destaque para a atenção aos povos indígenas, à biodiversidade e à segurança alimentar. Esses modelos podem servir de referência para a construção de indicadores brasileiros que avaliem, por exemplo, a sobreposição de projetos de transporte com áreas de agricultura familiar,

florestas nativas ou territórios de populações tradicionais, além de impactos sobre meios de subsistência e acesso a recursos naturais.

O documento *Criterios Técnicos Ambientales para la priorización de vías de tercer orden en Colombia*, publicado pelo Ministério do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável da Colômbia em 2016 e retomado em 2022, caracteriza-se como uma referência relevante. Ele estabelece diretrizes para a seleção e hierarquização de projetos rodoviários com base em seu impacto sobre ativos naturais e culturais, por meio de um sistema multicritério detalhado. A metodologia colombiana avalia a sobreposição das infraestruturas com áreas protegidas, florestas, corredores de conectividade ecológica e zonas de distribuição de fauna ameaçada ou vulnerável, atribuindo pontuações graduadas conforme o grau de sensibilidade ambiental. Essa abordagem é particularmente relevante para o contexto do PNL 2050, pois permite mensurar de forma objetiva e comparável o impacto potencial de cada intervenção, orientando a priorização de investimentos com base em critérios ambientais e sociais.

A adaptação ao contexto brasileiro pode ser realizada por meio da integração de dados geoespaciais sobre unidades de conservação, terras indígenas, comunidades quilombolas, áreas de vegetação nativa e corredores ecológicos, permitindo a construção de indicadores de exposição socioambiental. Nesse contexto, destaca-se que a Estratégia Brasil 2050 tem como um de seus eixos o Desenvolvimento Social e garantia de direitos, especialmente para populações mais vulneráveis aos efeitos da mudança do clima, como as citadas. Além disso, a combinação de critérios eliminatórios (ex. sobreposição com áreas de proteção integral) com critérios graduais (ex. tipo de vegetação ou uso do solo) oferece flexibilidade para adaptar a metodologia às diferentes realidades regionais brasileiras.

CONCLUSÕES E LIÇÕES APRENDIDAS

A análise das experiências nacionais e internacionais sobre indicadores socioambientais revela um conjunto de contribuições para o aprimoramento da avaliação de sustentabilidade no setor de transportes brasileiro.

No contexto nacional, já se discute, no âmbito da elaboração do PNL 2050, a criação de indicadores socioambientais relacionados às áreas de influência das infraestruturas da malha logística sobre (i) áreas preservadas, (ii) territórios indígenas, (iii) comunidades quilombolas e (iv) cavernas. Esses indicadores demonstram alinhamento com as experiências internacionais avaliadas.

Os Planos de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento (PPCD) e os critérios técnicos para análise de empreendimentos no PPA e PPI oferecem categorias adicionais de áreas e comunidades de interesse para proteção, como territórios ribeirinhos, áreas de vegetação nativa e identificação de trechos com tecnologias de monitoramento ambiental. Esses elementos podem ser incorporados ao PNL 2050, ampliando a capacidade de análise dos impactos socioambientais.

Entre as experiências internacionais, o caso colombiano se destaca como referência particularmente relevante. Os “Critérios Técnicos Ambientais para Vias Terciárias” apresentam uma metodologia clara e aplicável, baseada em dois componentes principais: um filtro de

elegibilidade inicial, que exclui projetos sem licença ambiental ou com sobreposição direta a áreas protegidas, e um sistema de pontuação incremental, que avalia a intensidade da sobreposição com categorias ambientais sensíveis. Os critérios incluem áreas de especial interesse ambiental, florestas, áreas úmidas, corredores de conectividade ecológica e zonas de ocorrência de fauna ameaçada. Cada subcategoria recebe uma pontuação proporcional a sua relevância, permitindo uma priorização dos projetos com base em restrições ambientais. Essa abordagem apresenta compatibilidade com os objetivos do PNL 2050.

Além disso, outras iniciativas internacionais, como o Marco de Gestão Ambiental e Social do Nepal, os Padrões de Desempenho da IFC e o Guia Mexicano sobre Direitos Indígenas, oferecem contribuições importantes em termos de governança, participação comunitária e proteção de grupos vulneráveis. Embora algumas dessas experiências demandem adaptação ao contexto logístico brasileiro, elas reforçam a importância de incorporar dimensões sociais, culturais e ecológicas na avaliação de projetos de infraestrutura.

Por fim, é importante destacar que o Brasil dispõe de diversas fontes de dados que viabilizam a aplicação dos indicadores propostos, como por exemplo o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), o Centro de Monitoramento Remoto (CMR), o SOMABRASIL e o MapBiomass. A disponibilidade desses dados fortalece a capacidade técnica para implementar uma metodologia de avaliação socioambiental integrada, transparente e territorialmente informada. As fontes de dados a serem consideradas serão apresentadas junto a proposta de cada indicador socioambiental para o PNL 2050.

PARTE B. INDICADORES SOCIOAMBIENTAIS

Com base na análise das metodologias adotadas em diferentes contextos, tanto nacionais quanto internacionais, propõe-se o desenvolvimento de uma abordagem metodológica ampla e integrada para a seleção e aplicação de indicadores socioambientais em projetos de infraestrutura de transporte, incluindo rodovias, ferrovias, hidrovias, portos e aeroportos.

O marco conceitual adotado contempla dois tipos distintos de indicadores, em alinhamento com a lógica das metodologias voltadas à avaliação da resiliência climática. Os indicadores de exposição têm como objetivo identificar os elementos do território que são de interesse socioambiental, como as unidades de conservação, comunidades indígenas, quilombolas e outros grupos tradicionais, e que se encontram sob influência direta ou indireta das infraestruturas de transporte. Esses indicadores permitem mapear áreas sensíveis que podem ser afetadas pela implantação ou operação de projetos logísticos.

Por outro lado, os indicadores de sensibilidade buscam aferir como essas áreas expostas podem ser diferenciadas em termos de potencial impacto. Isso inclui a análise de fatores que podem intensificar os efeitos negativos da presença de infraestrutura, como a existência de áreas já desmatadas, pressões fundiárias, interesses minerários ou expectativas de expansão agropecuária. Esses elementos funcionam como vetores ou indutores de transformação territorial, especialmente em regiões como a Amazônia Legal, onde determinadas formas de implantação de novas vias podem acelerar processos de degradação ambiental e conflitos socioeconômicos.

A atualização dos indicadores socioambientais depende diretamente da periodicidade das bases de dados utilizadas, que variam conforme o tipo de informação considerada. Algumas bases, como o MapBiomas, possuem atualização anual, enquanto outras, como registros de conflitos ou dados de atropelamento de fauna, podem apresentar ciclos mais longos. Nesses casos, considera-se a influência da expansão da infraestrutura logística sobre regiões com dados disponíveis, como áreas de conservação, que são territorialmente estáticas, mas podem ter sua área de influência ampliada conforme a implementação de novos projetos. A maior parte das bases utilizadas possui dados georreferenciados, permitindo análises com diferentes níveis de granularidade, por tipo de modal (rodoviário, ferroviário, hidroviário, portuário e aeroviário) e por corredor logístico, assim como por recorte territorial (estadual, regional e nacional) e biomas.

PROPOSTA DE INDICADORES SOCIOAMBIENTAIS

As Tabelas 10 e 11 apresentam os indicadores de exposição para áreas protegidas e comunidades, respectivamente. Esses indicadores foram propostos com o objetivo de identificar elementos do território de interesse socioambiental, como as áreas de proteção integral e áreas de uso sustentável, comunidades indígenas, quilombolas e áreas de interesse espeleológico que se encontram sob influência direta ou indireta das infraestruturas de transporte. A metodologia permite mapear a proximidade da malha logística em relação a esses territórios, oferecendo subsídios para a avaliação dos riscos e impactos potenciais associados à implantação ou operação de projetos logísticos.

Para os indicadores relacionados a Unidades de Conservação e patrimônio espeleológico, são utilizadas bases oficiais do Ministério do Meio Ambiente e do ICMBio, que disponibilizam os limites geográficos das áreas de proteção integral, uso sustentável e cavernas registradas. Já os indicadores voltados às populações sensíveis, como Terras Indígenas, Quilombos e comunidades tradicionais, utilizam dados do IBGE, da FUNAI e da Fundação Cultural Palmares.

Complementarmente, o indicador de comunidades vulneráveis é construído a partir de dados do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M), fornecido pelo PNUD, e do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS), disponibilizado pelo IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada), permitindo identificar trechos da malha que incidem sobre áreas com maior fragilidade socioeconômica.

Tabela 10 – Proposta de indicadores socioambientais de exposição de áreas protegidas para o PNL 2050

Indicador	Fórmula de cálculo	Descrição	Modais aplicáveis
Percentual de infraestruturas com área de influência em Unidades de Conservação e Proteção Integral	Extensão de trechos em áreas de proteção integral (km) / Extensão total da malha (km)	Mede a proporção da malha de transportes que incide sobre áreas de proteção integral, como parques nacionais, reservas biológicas e estações ecológicas. A redução do indicador no cenário-meta pode ser alcançada com a priorização de projetos fora dessas áreas sensíveis.	Rodoviário Ferroviário Hidroviário

Percentual de infraestruturas com área de influência em Unidades de Conservação de Uso Sustentável	Extensão de trechos em áreas de uso sustentável (km) / Extensão total da malha (km)	Avalia a presença da infraestrutura de transportes em áreas de uso sustentável, como reservas extrativistas, áreas de proteção ambiental (APA) e florestas nacionais. O indicador orienta o planejamento para minimizar impactos em territórios com manejo ambiental regulado.	Rodoviário Ferroviário Hidroviário
Percentual de infraestruturas com área de influência em áreas de patrimônio espeleológico (cavernas)	Extensão de trechos em áreas de influência de cavernas registradas (km) / Extensão total da malha (km)	Mede a sobreposição da malha de transportes com áreas de ocorrência de cavernas e formações espeleológicas protegidas por legislação específica. O indicador contribui para evitar impactos em ecossistemas subterrâneos e preservar o patrimônio natural.	Rodoviário Ferroviário Hidroviário

Tabela 11 – Proposta de indicadores socioambientais de exposição de povos e comunidades para o PNL 2050

Indicador	Fórmula de cálculo	Descrição	Modais aplicáveis
Percentual de infraestruturas com área de influência em Terras Indígenas	Extensão de trechos em áreas de influência de Terras Indígenas (km) / Extensão total da malha (km)	Indica a sobreposição da malha de transportes com territórios indígenas oficialmente reconhecidos. A redução do indicador contribui para evitar conflitos socioambientais e respeitar os direitos territoriais desses povos.	Rodoviário Ferroviário Hidroviário
Percentual de infraestruturas com área de influência em Quilombos e Territórios Tradicionais	Extensão de trechos em áreas de influência de territórios quilombolas e tradicionais (km) / Extensão total da malha (km)	Avalia a presença da infraestrutura em áreas habitadas por comunidades tradicionais, com foco na proteção cultural e territorial. O indicador apoia o planejamento de projetos com menor impacto social.	Rodoviário Ferroviário Hidroviário
Percentual de infraestruturas com área de influência em comunidades vulneráveis	Extensão de trechos em áreas com baixo IDH ou alto IVS (km) / Extensão total da malha (km)	Avalia a presença da infraestrutura de transportes em áreas habitadas por populações em situação de vulnerabilidade social, com base em indicadores como o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) ou o Índice de Vulnerabilidade Social (IVS). Este indicador apoia o planejamento de projetos com foco na equidade social e na mitigação de impactos negativos sobre populações vulneráveis, com foco em mecanismos de gestão de risco.	Rodoviário Ferroviário Hidroviário

A análise considera a área de influência da infraestrutura de transportes, diferenciada conforme a localização dentro ou fora da Amazônia Legal. A tabela 12 apresenta as distâncias, conforme definidas pela Portaria Interministerial nº 60, de 24 de março de 2015, consideradas por tipo de modal e localização. Essas faixas são utilizadas para identificar trechos da malha que incidem sobre ou nas proximidades de áreas sensíveis de interesse, UCs e comunidades vulneráveis.

Tabela 12 – Área de influência considerada para os indicadores socioambientais de exposição no PNL 2050

Infraestrutura	Área de influência (dentro da Amazônia Legal)	Área de influência (fora da Amazônia Legal)
Ferrovia	10 km	5 km
Rodovia	40 km	10 km
Porto	10 km	8 km

A partir dos indicadores de exposição, propõe-se o desenvolvimento de indicadores socioambientais voltados à avaliação da sensibilidade de áreas protegidas frente à presença de infraestrutura de transporte. A proposta baseia-se no cruzamento entre os dados de desmatamento disponibilizados pelo MapBiomas e os limites das áreas protegidas, considerando suas zonas de influência em torno de rodovias e ferrovias.

O objetivo é identificar padrões de sensibilidade ambiental a partir da extensão do desmatamento ocorrido nos últimos cinco anos dentro dessas áreas, especialmente quando associado a vetores de indução como estradas e expansão urbana, conforme categorização disponível na plataforma MapBiomas. Esses indicadores complementam os de exposição, permitindo uma avaliação mais precisa sobre a pressão exercida pela malha sobre ecossistemas protegidos, e orientam o planejamento de projetos com menor impacto ambiental.

Essa abordagem permite avaliar a vulnerabilidade relativa das áreas protegidas à pressão antrópica, diferenciando regiões com maior área de influência de infraestrutura, mas com menor incidência de desmatamento, o que pode indicar maior efetividade de gestão e resiliência ecológica. Além disso, possibilita a análise dos efeitos potenciais de novas infraestruturas sobre a malha de áreas protegidas, contribuindo para o planejamento territorial e a mitigação de impactos ambientais. A tabela 13 apresenta os indicadores de extensão de vegetação suprimida nas áreas de influência da malha logística.

O uso do MapBiomas como base de dados é justificado por sua ampla aceitação e confiabilidade no contexto brasileiro. A plataforma oferece dados anuais de uso e cobertura da terra desde 1985, com metodologia transparente, validação por especialistas e reconhecimento por órgãos públicos, academia e sociedade civil. Sua granularidade e atualização anual tornam o MapBiomas uma ferramenta relevante para análises espaciais e temporais de mudanças no

território, especialmente no que se refere ao monitoramento do desmatamento e à identificação de vetores de pressão sobre os ecossistemas.

Tabela 13 – Proposta de indicadores socioambientais de impacto sobre o desmatamento

Indicador	Fórmula de cálculo	Descrição	Modais aplicáveis
Extensão de vegetação suprimida (ha) nas áreas de influência em áreas de proteção integral	Área de supressão de vegetação (ha) nos últimos 5 anos em áreas de influência da malha sobre Unidades de Proteção Integral	Mede o desmatamento recente em áreas protegidas sob influência da malha de transportes. A redução do indicador pode ser alcançada com a priorização de trechos fora de regiões críticas e ações de controle de desmatamento.	Rodoviário Ferroviário
Extensão de vegetação suprimida (ha) nas áreas de influência em áreas de uso sustentável	Área de supressão de vegetação (ha) nos últimos 5 anos em áreas de influência da malha sobre Unidades de Uso Sustentável	Avalia o impacto da infraestrutura sobre áreas com manejo ambiental regulado, indicando pressão sobre recursos naturais.	Rodoviário Ferroviário

Como parte dos indicadores de impacto sobre a biodiversidade, propõe-se o cruzamento das áreas de influência da malha logística com dados de ocorrências de atropelamento de fauna terrestre, com o objetivo de aferir a sensibilidade ecológica de corredores rodoviários e ferroviários. Para isso, pode ser considerada a base de dados da iniciativa *Brazil Road Kill*, elaborada por pesquisadores de diversas instituições brasileiras, como a Universidade Federal de Lavras, Universidade Federal de Minas Gerais e Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Essa base apresenta registros georreferenciados de atropelamentos, permitindo relacionar diretamente os eventos com o quilômetro da rodovia, o que viabiliza a identificação de trechos críticos com maior incidência de impactos sobre a fauna. O conjunto de dados cobre o período de 1988 a 2017 e inclui informações detalhadas sobre os eventos de atropelamento, como espécie envolvida, status de conservação segundo a IUCN, e data da ocorrência.

Embora a base não apresente atualização recorrente, ainda pode ser considerada como referência para priorização de investimentos em infraestrutura de proteção da fauna, especialmente em trechos com histórico recorrente de atropelamentos. Essa abordagem contribui para a avaliação da vulnerabilidade ecológica dos corredores logísticos e para o planejamento de medidas de adaptação da infraestrutura de transporte, como por exemplo através de passagens de fauna, cercamentos, sinalização específica, controle de velocidade e uso de tecnologias de detecção de animais. A Tabela 14 apresenta os indicadores que avaliam a quantidade de atropelamentos de fauna nas áreas de influência da malha logística sobre Unidades de Conservação de Proteção Integral e de Uso Sustentável.

Tabela 14 - Proposta de indicadores socioambientais de impacto sobre fauna terrestre

Indicador	Fórmula de cálculo	Descrição	Modais aplicáveis
Quantidade de atropelamentos de fauna na área de influência da infraestrutura em áreas de proteção integral	Número de registros de atropelamentos de fauna em trechos da malha com influência sobre Unidades de Proteção Integral	Mede a ocorrência de atropelamentos de fauna silvestre em áreas protegidas, indicando pressão sobre espécies com funções ecológicas relevantes. Os dados podem orientar ações mitigadoras, como passagens de fauna, cercamentos e sinalização.	Rodoviário Ferroviário
Quantidade de atropelamentos de fauna na área de influência da infraestrutura em áreas de uso sustentável	Número de registros de atropelamentos de fauna em trechos da malha com influência sobre Unidades de Uso Sustentável	Avalia o impacto da infraestrutura sobre a fauna em áreas com manejo ambiental regulado, contribuindo para o planejamento de medidas de mitigação específicas.	Rodoviário Ferroviário

Por fim, propõe-se a identificação de áreas de influência da malha logística em territórios com registros de conflitos socioambientais e a adoção de mecanismos de proteção e participação social. Essa abordagem visa qualificar o potencial de impacto das infraestruturas de transporte sobre comunidades tradicionais e áreas sensíveis, especialmente em contextos marcados por disputas fundiárias e injustiças ambientais.

Para os indicadores relacionados a conflitos, propõe-se o uso da base de dados do Mapa de Conflitos Envolvendo Injustiça Ambiental e Saúde no Brasil, desenvolvido pela Fiocruz, que reúne registros desde 1980 envolvendo comunidades indígenas, quilombolas e outros grupos vulnerabilizados em decorrência de atividades associadas a rodovias, ferrovias, hidrovias, portos, aeroportos e complexos logísticos. Os dados são georreferenciados e estão em processo de atualização desde 2018, permitindo sua integração com mapas de influência da malha logística e a identificação de trechos críticos para priorização de ações de mitigação e participação. A Tabela 15 apresenta o indicador que avalia a quantidade de conflitos.

Tabela 15 – Proposta de indicadores socioambientais de impacto sobre comunidades

Indicador	Fórmula de cálculo	Descrição	Modais aplicáveis
Quantidade de conflitos em faixas de influência da malha logística	Número de registros de conflitos socioambientais em trechos da malha logística.	Mede a ocorrência de conflitos envolvendo comunidades indígenas, quilombolas e tradicionais em áreas impactadas por rodovias, ferrovias, hidrovias, portos e aeroportos. A redução do indicador pode ser promovida por meio de ações de mitigação, compensação, participação social e fortalecimento da governança.	Rodoviário Ferroviário Hidroviário Aeroviário Portuário

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Transportes Aquaviários – ANTAQ. *O Índice IDA: Índice de Desempenho Ambiental para Instalações Portuárias*. Superintendência de Desempenho, Desenvolvimento e Sustentabilidade, Gerência de Meio Ambiente e Sustentabilidade.

European Commission. (2024). *JASPER practical sectoral guidance on climate resilience proofing infrastructure*, European Investment Bank.

Environmental Protection Agency, Ireland (2024); *Implementation of Climate Adaptation Indicators: Lessons Learned from the Transport Sector*. Estudo elaborado por MaREI (UCC), Transport Infrastructure Ireland (TII) e ARUP Consultants, com o apoio da Environmental Protection Agency da Irlanda.

Fundação Nacional dos Povos Indígenas (FUNAI). (2025). *Mapa interativo das comunidades indígenas*. <https://cmr.funai.gov.br/cmr/>.

GT Infraestrutura e Justiça Socioambiental, Instituto Brasileiro de Auditoria de Obras Públicas (IBRAOP), Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA), Instituto Socioambiental (ISA), & Transparência Internacional – Brasil. (2023). *Critérios para análise e classificação de empreendimentos de infraestrutura no Plano Plurianual (PPA) e no Programa de Parcerias de Investimentos (PPI)*.

HIDROWEB. (s. f.). <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/mapa>

HM Treasury (2022); *The Green Book: Central Government Guidance on Appraisal and Evaluation*. Guia elaborada pelo Tesouro de Sua Majestade do Reino Unido (HM Treasury), com orientações para a avaliação e análise de investimentos públicos, em sua versão atualizada com links revisados. Londres: Governo do Reino Unido.

Indacochea, M., Acevedo, A., Márquez, B., & León, D. (2024). *Pueblos indígenas: brechas entre los sistemas de licenciamiento y fiscalización ambiental y los estándares internacionales*.

Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), (2025). *Camadas do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. (ICMBIO)*. <https://visualizador.inde.gov.br/>

Instituto Nacional de los Pueblos Indígenas. (2022). *Guía para la incorporación de la perspectiva de derechos indígenas y pertinencia cultural en los programas y proyectos de la Administración Pública Federal*. Gobierno de México.

International Finance Corporation (2012). *Overview of Performance Standards on Environmental and Sustainability*. International Finance Corporation.

Islamic Development Bank. (2019). *Transport sector climate change adaptation guidance note*. World Resources Institute.

ITF (2016), *Adapting Transport to Climate Change and Extreme Weather: Implications for Infrastructure*. Owners and Network Managers, ITF Research Reports, OECD Publishing, Paris.

Kvam, R. (2018). *Social Impact Assessment: Integrating Social Issues in Development Projects*.

Mapbiomas.org, (2025). *MapBiomas Amazonia*. <https://amazonia.mapbiomas.org/>

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. (2024). *AdaptaBrasil MCTI: Índices e indicadores de risco de impactos das mudanças climáticas no Brasil*, integrados em uma única plataforma.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2022). *Criterios Técnicos Ambientales para la priorización de vías de tercer orden*, Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible De Colombia.

Ministério do Meio Ambiente. (2023). *Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento–PPCD(2023–2027)*. Governo Federal.

Ministério dos Transportes. (2024). *Manual dos Indicadores do Programa de Concessões de Rodovias Federais – PROCROFE (3ª versão)*. Secretaria Nacional de Transporte Rodoviário, Departamento de Outorgas Rodoviárias.

OECD Public Governance Working Papers (2023); *Integrating climate change in infrastructure project appraisal: A proposed methodology for Ireland*. (E. Pilichowski, Ed.). European Union.

República Federativa do Brasil (2022); *Levantamento de impactos e riscos climáticos sobre a infraestrutura federal de Transporte terrestres (rodoviário e ferroviário)*. Estudo AdaptaVias, Associação GITEC/COPPE para o Ministério dos Transportes, Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações, com o apoio da GIZ 2022

Rossetti, M. A.; *Potential impacts of climate change on railroads*.

Transport & ICT. 2015. *Moving Toward Climate-Resilient Transport: The World Bank's Experience from Building Adaptation into Programs*. Washington DC: World Bank, License: Creative Commons Attribution CC BY 3.0

World Bank. (2023). *Environmental and Social Management Framework (ESMF): Nepal Urban Governance and Infrastructure Project*.