

Universidade Federal do Rio de Janeiro

ADAPTAÇÃO A MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM CONCESSÕES RODOVIÁRIAS
NACIONAIS

Beatriz Massena Costa

2024



ADAPTAÇÃO A MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM CONCESSÕES RODOVIÁRIAS NACIONAIS

Beatriz Massena Costa

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Transportes.

Orientador: Marcio de Almeida D'Agosto

Rio de Janeiro

Abril/2024

ADAPTAÇÃO A MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM CONCESSÕES RODOVIÁRIAS
NACIONAIS

Beatriz Massena Costa

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES.

Orientador: Marcio de Almeida D'Agosto

Aprovada por: Prof. Roberto Ivo da Rocha Lima Filho
Prof^a. Viviane Helena Torinelli

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
ABRIL DE 2024

Costa, Beatriz Massena

Adaptação a Mudanças Climáticas em Concessões Rodoviárias Nacionais / Beatriz Massena Costa. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2024.

X, 62 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Marcio de Almeida D’Agosto

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Transportes, 2024.

Referências Bibliográficas: p. 51-57.

1. Concessões Rodoviárias. 2. Adaptação a Mudanças Climáticas. 3. Tratamento de Incertezas. I. D’Agosto, Marcio de Almeida. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Transportes. III. Adaptação a Mudanças Climáticas em Concessões Rodoviárias Nacionais.

Dedico essa dissertação ao meu filho e à minha filha, que, sem saberem, me proporcionaram o incentivo para sua conclusão.

AGRADECIMENTOS

Como dizem, é preciso uma aldeia inteira para criar uma criança. E para se concluir o mestrado, realizado concomitantemente com o trabalho, não é muito diferente. Tendo o mestrado se iniciado em março de 2019; minha primeira gestação, em setembro do mesmo ano; a pandemia, em março de 2020 (perdurando até meados de 2022); e o nascimento do meu primeiro filho, em maio de 2020, infelizmente minha aldeia ficou muito reduzida durante boa parte do curso.

Por esse motivo, inicio os agradecimentos à COPPE/UFRJ, que autorizou a extensão da duração do curso de mestrado em dois anos para as pessoas que estavam no curso durante a pandemia. No Programa de Engenharia de Transportes, agradeço imensamente ao meu orientador, Prof. Marcio D'Agosto, que também foi aldeia todas as vezes que nos encontramos e em que ele dispensou atenção ao projeto, acalmando a ansiedade e demonstrando saídas para os problemas que eu trazia. Também agradeço ao Prof. Marcelino Aurélio, que, na banca do Projeto de Dissertação, sugeriu que a pesquisa tivesse o foco em incertezas climáticas. Certamente a mudança trouxe mais desafios, mas tornou a pesquisa mais atraente e instigadora, além de atual.

Seguindo minha aldeia, agradeço ao meu marido, que foi incentivador para que me engajassem no mestrado, apoio nos momentos de tomada de decisão, e pai presente. Não poderia deixar de agradecer também ao meu pai e minha mãe que me deram a base para que eu chegasse no curso de pós-graduação, e, junto com minha irmã, foram parte da minha pequena aldeia nos cuidados com meu primeiro filho durante a pandemia, dando o suporte para que eu conseguisse cursar disciplinas do mestrado nos seus primeiros meses de vida, ainda em licença maternidade no trabalho (na maioria das vezes ao meu lado com o bebê no colo enquanto eu assistia às aulas online). Merece um agradecimento especial a minha mãe, que não me deixou desistir do curso nesse período muito difícil.

Por último, agradeço ao BNDES, que autorizou a dispensa de horas para que pudesse cursar as disciplinas no primeiro ano, e meus chefes e amigos ao longo desse período, que foram ou parte do processo de autorização para o mestrado, ou compreensivos com os horários, ou amigos de todas as horas para ouvir minhas questões, ou tudo isso ao mesmo tempo.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

ADAPTAÇÃO A MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM CONCESSÕES RODOVIÁRIAS NACIONAIS

Beatriz Massena Costa

Abril/2024

Orientador: Marcio de Almeida D'Agosto

Programa: Engenharia de Transportes

Os estudos de viabilidade utilizados nas licitações de concessões rodoviárias são parte relevante da tomada de decisão pela escolha de investimentos, tanto no planejamento público quanto no privado. Demandas ou necessidades de investimentos diferentes dos previstos podem resultar em maiores necessidades de aporte do acionista, em maior participação de subsídios públicos, ou, ainda, em acidentes ou desastres sem precedentes. O conhecimento sobre os efeitos das mudanças climáticas sobre o clima terrestre torna premente a inclusão de investimentos que visem à adaptação da infraestrutura de transporte rodoviário, e não apenas à mitigação às mudanças climáticas, nesses estudos. No entanto, a literatura demonstra que a incorporação desse tipo de incertezas ainda não é uma atividade usual no âmbito do processo de tomada de decisão no setor de transportes. A presente dissertação propõe uma abordagem de incertezas advindas das mudanças climáticas nos estudos de viabilidade que embasam a concessão de serviços de infraestruturas nacionais de transporte rodoviário.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

ADAPTATION TO CLIMATE CHANGE IN NATIONAL ROAD CONCESSIONS

Beatriz Massena Costa

April/2024

Advisors: Marcio de Almeida D'Agosto

Department: Transportation Engineering

The feasibility studies used in bidding for road concessions are a relevant part of decision-making when choosing for investments, considering public and private planning. Demands or investment necessities different from those predicted may result in greater shareholder support needs, in greater public subsidies, or even in accidents or disasters. Knowledge about the effects of climate change on the Earth's climate makes it urgent to include investments that aim at adapting infrastructure in these studies, and not only at mitigation strategies. However, the incorporation of uncertainties is still an unusual activity within the decision-making process in the transport sector, as shown in the literature. This document proposes an approach to uncertainties arising from climate change in feasibility studies that support the concession of national road transport infrastructure services.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Problema de Pesquisa	2
1.2. Objetivos geral e específicos	3
1.3. Justificativa	3
1.4. Delimitação da pesquisa	4
1.5. Estrutura da Dissertação	5
2. REVISÃO DA LITERATURA	6
2.1 Incerteza Climática nos Transportes.....	11
2.1.1 O que impede o avanço das estratégias de adaptação	13
2.1.2 Como lidar com os desafios	13
2.2 Impactos das mudanças climáticas nos transportes	14
3. PROPOSTA DE PROCEDIMENTO METODOLÓGICO.....	19
3.1. Revisão bibliográfica	19
3.2. Revisão documental	23
4. TRATAMENTO DE INCERTEZAS.....	25
4.1 Redução de horizontes de tempo de tomadas de decisão	26
4.2 Opções Reais.....	26
4.3 Robustas.....	27
4.4 Medidas contratuais	28
4.5 Avaliação de resiliência climática do projeto	29
4.6 Gerenciamento adaptativo de sistemas de transportes.....	31
5. RESULTADOS DA REVISÃO DOCUMENTAL.....	33
5.1. O PNL 2035	33
5.2. Documentos Editalícios	34
5.1.1. BR-153/080/414	35
5.1.2. PA-150	35
5.1.3. BR 116/493/465, BR-116/101, Lote 1 de Rodovias Paranaenses, Noroeste Paulista e Rodoanel Norte SP	36
5.1.4. Rodovias MG Triângulo Mineiro e Rodovias MG Varginha-Furnas	36
5.3. Conclusões da Revisão Documental	36
6. PROPOSTA DE ABORDAGEM.....	38
6.1 Análise de vulnerabilidade da infraestrutura	38
6.1.1. Etapa 1 – definição de prioridades de adaptação, em interlocução com equipe tomadora de decisão	40
6.1.2. Etapa 2 - elaboração de cenários	41

6.1.3. Etapa 3 - definição dos “gatilhos climáticos”	42
6.1.4. Etapa 4 - escolha da estratégia de adaptação e de alocação de risco, em interlocução com equipe tomadora de decisão.....	43
6.1.5. Etapa 5 – elaboração do Plano de Adaptação às Mudanças Climáticas.....	45
6.1.6. Etapa 6 – Monitoramento e Avaliação	45
6.2 Benefícios do procedimento proposto	46
6.3 Restrições à implantação do procedimento proposto	47
7. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES	48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
GLOSSÁRIO.....	58

1. INTRODUÇÃO

O reconhecimento de que o futuro é incerto desafia as metodologias utilizadas atualmente no planejamento de transportes (LYONS e DAVIDSON, 2016; BAYNHAM e STEVENS, 2014), e, mais especificamente, na elaboração da projeção econômico-financeira de projetos de concessões rodoviárias e de todos os documentos que a precedem (como estudos de demanda, estudos de engenharia e modelos operacionais e econômico-financeiros).

A preocupação de que, no futuro, os gestores públicos terão que lidar com eventos climáticos extremos – decorrentes, em maior frequência, dos efeitos das mudanças climáticas – tem resultado num maior número de pesquisas sobre a necessidade de adaptação no setor de transportes. O crescimento da ocorrência de pesquisas no tema pode ser observado em Vajjarapu *et al.* (2019), Picketts *et al.* (2015) e Koetse e Rietveld (2012).

O Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (“Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, Sixth Assessment Report, AR6”, em IPCC (2021a)), de outubro de 2021, apresenta os resultados, de forma gráfica e simplificada, dos modelos climáticos revisados, que são distribuídos, ainda, em diferentes cenários de mudanças de clima. O relatório destaca, dentre as origens de incertezas nas simulações climáticas, de forma geral: incertezas nas forçantes radiativas passadas e previstas; incertezas da resposta climática a forçantes radiativas; variações internas e naturais do sistema climático; e incertezas quanto a interações entre as variáveis anteriormente informadas. A quantidade de cenários e modelos revisados demonstra não só a incerteza sobre a forma de modelagem do processo, como também sobre a amplitude de seus efeitos (IPCC, 2021a).

No setor de transportes, dentre as diversas fontes de incerteza – que já eram múltiplas –, sob o prisma das mudanças climáticas, é preciso passar a considerar, além dos impactos em resiliência e necessidade de investimentos antes não previstos, os seguintes: mudanças na demanda por viagens na sociedade, suas causas e provável manutenção; velocidade e natureza da transição energética para veículos movidos por outras fontes de energia diferentes de combustíveis fósseis; futura forma de precificação de viagens rodoviárias de veículos elétricos; era digital com seus desenvolvimentos em tecnologia de informação

e comunicação influenciando comportamentos; entrada de tecnologias veiculares inteligentes, automatizadas e conectadas; e os fatores tradicionais de crescimento populacional, preço de combustíveis, renda disponível e uso da terra (LYONS e MARSDEN, 2019).

Ao se discutir resiliência dos sistemas de transporte, com vistas à proteção da sua operação, tem-se em vista ações de adaptação às mudanças climáticas (NG *et al.*, 2018). Ou seja, com vistas a adequar a infraestrutura de transportes aos efeitos já comprovados das mudanças climáticas, e reduzir sua vulnerabilidade, deve-se considerar estratégias de adaptação, que se diferenciam das estratégias de mitigação às mudanças climáticas. Considera-se mitigação a busca pela redução dos efeitos dos sistemas de transportes no sistema atmosférico; isto é, a busca por medidas de redução da emissão de gases de efeito estufa pelo setor (WANG *et al.*, 2020). Segundo Chen *et al.* (2021), vulnerabilidade é a propensão ou predisposição para ser afetado de forma adversa, e envolve uma variedade de conceitos e elementos, tais como sensibilidade ou suscetibilidade ao perigo e baixa capacidade de lidar e adaptar-se a ele.

Especificamente sobre vulnerabilidade e resiliência de infraestruturas de transportes, Meyer e Weigel (2011) alertam para os impactos significativos que as mudanças climáticas podem operar nas instalações e sistemas de transportes, como: a elevação do nível do mar, que ameaça estruturas de baixa altitude como rodovias e ferrovias costeiras e portos; o aumento do risco de ventos fortes e furacões, com impacto relevante em pontes; o aumento do volume de precipitações e, conseqüentemente, de inundações, e seu impacto na instalação de drenagem; aumento de temperatura, que, quando muito altas, podem fazer com que os pavimentos de concreto de estradas entortem e amoleçam; além de outras ocorrências relativas ao derretimento de *permafrost* e de mudança de regimes de neve.

1.1. Problema de Pesquisa

Apesar das comprovações científicas sobre a existência do fenômeno climático (IPCC, 2021a) e do fato de o Brasil ser um país equatorial e tropical, sensível aos eventos climáticos extremos, de dimensões continentais, o que torna seu tratamento mais complexo, e com alta participação de população vulnerável, que mais sofre os impactos das mudanças climáticas (LEVY E PATZ, 2015), ainda não se nota, no planejamento público, a preocupação com a resiliência de infraestruturas de transportes a esses efeitos.

Propostas alternativas de lidar com incertezas têm sido apresentadas como políticas dinâmicas e adaptáveis ou planejamento de cenários, mas que não são parte da prática mais corrente de planejamento de transportes (MARSDEN E MCDONALD, 2019). Uma das fases do trabalho será confirmar ou não essa declaração para os projetos de concessões rodoviárias nacionais.

A presente dissertação tem por objetivo propor uma forma de abordagem de incertezas advindas das mudanças climáticas nos estudos de viabilidade que embasam a concessão de serviços de infraestruturas nacionais de transporte rodoviário. A pesquisa se destina aos elaboradores de políticas públicas e gestores públicos das áreas de transporte e ambiental, à equipe técnica elaboradora dos estudos de viabilidade que embasam as licitações de transportes rodoviários nacionais, e àqueles que buscam desenvolver abordagens de incertezas climáticas voltadas à adaptação climática e à infraestrutura resiliente.

Isto posto, apresenta-se o problema de pesquisa como sendo: como tratar incertezas advindas das mudanças climáticas em estudos de viabilidade que embasam a concessão de serviços de infraestruturas nacionais de transporte rodoviário?

1.2. Objetivos geral e específicos

O objetivo geral da presente pesquisa é propor uma forma de abordagem de incertezas advindas das mudanças climáticas nos estudos de viabilidade que embasam a concessão de serviços de infraestruturas nacionais de transporte rodoviário.

Como objetivos específicos, tem-se:

- conhecer os impactos das mudanças climáticas em infraestruturas de transportes;
- apontar o estado da arte sobre o tratamento de incertezas profundas em projetos de infraestrutura, em especial, de incertezas climáticas;
- demonstrar que as concessões de serviços de infraestruturas rodoviárias nacionais não consideram as incertezas advindas das mudanças climáticas nos estudos de viabilidade técnica, econômica e ambiental que embasam suas licitações.

1.3. Justificativa

O presente trabalho se justifica pela atualidade do tema, pois, ainda que as medidas de mitigação às mudanças climáticas já sejam acompanhadas, inclusive por organismos

internacionais, por meio das contribuições nacionalmente determinadas (NDC) (BRASIL, 2020c), e que as mudanças climáticas sejam um fenômeno comprovado cientificamente (IPCC, 2021a), as medidas de adaptação ainda são incipientes, mesmo nos países que mais destinam recursos à pesquisa nesse tema (VAJJARAPU *et al.*, 2019, WANG *et al.*, 2020). Além disso, as estratégias de adaptação ainda carecem de uma metodologia padrão ou predominante de tratamento, que oriente sua incorporação aos projetos de infraestruturas públicas (WANG *et al.*, 2020). Ainda, segundo Baynham e Stevens (2014), as incertezas advindas das mudanças climáticas desafiam a forma de tomada de decisão de uma forma sem precedentes na história.

Soma-se a isso o fato de os métodos tradicionais de planejamento de transportes carecerem de tratamentos adequados de incertezas profundas (MARCHAU *et al.*, 2013), o que, em se tratando de incertezas climáticas, pode vir a ocasionar: i. gastos superiores aos previstos inicialmente, se a atualização da infraestrutura for realizada após a concretização da mudança de padrão climático (SCHWEIKERT *et al.*, 2014; TWEREFU *et al.*, 2015); ii. financiamentos de organismos multilaterais com custos mais altos (THE WORLD BANK GROUP, 2021); e iii. prejuízos incalculáveis sobre a população do entorno, principalmente a mais vulnerável (LEVY E PATZ, 2015).

Portanto, como resultado da presente pesquisa, pretende-se apresentar uma metodologia para a incorporação da análise de mudanças climáticas que impactam as infraestruturas rodoviárias de transportes, em projetos de concessão de longo prazo, de forma a projetar infraestruturas resilientes a tais mudanças.

1.4. Delimitação da pesquisa

A pesquisa se restringe à abordagem de adaptação a mudanças climáticas nos estudos para licitação de infraestruturas nacionais de transporte rodoviário, de responsabilidade da União e dos estados, com mais de 20 anos de prazo de duração. A pesquisa não se presta a avaliar possíveis impactos das mudanças climáticas na demanda por transportes, mas sim em suas infraestruturas, nem a avaliar medidas de mitigação em sistemas de transportes. Ainda que seja uma forma de tratamento a ser dado a incertezas, a pesquisa também não se prestará a propor cláusulas contratuais de alocação de riscos entre as partes. A pesquisa também não apresentará os cálculos de engenharia civil necessários à elaboração de projetos de infraestrutura.

1.5. Estrutura da Dissertação

Capítulo 1: Descreve o problema de pesquisa, os objetivos geral e específicos, a justificativa, a delimitação da pesquisa e a estrutura da dissertação.

Capítulo 2: Apresenta a revisão da literatura acerca do tema incertezas climáticas nos transportes, o status atual das pesquisas, os desafios que têm impedido o avanço da pesquisa em adaptação às mudanças climáticas, e algumas saídas para lidar com tais desafios.

Capítulo 3: Apresenta a proposta de procedimento metodológico a ser usado na dissertação, com vistas a resultar na proposta de abordagem da adaptação a mudanças climáticas nos documentos que embasam as concessões rodoviárias nacionais.

Capítulo 4: Apresenta o levantamento bibliográfico sobre as formas de tratamento de incertezas climáticas em projetos de infraestruturas.

Capítulo 5: Descreve o resultado da revisão documental sobre os documentos referentes a concessões rodoviárias nacionais recentes.

Capítulo 6: Detalha a proposta de abordagem da adaptação a mudanças climáticas nos documentos que embasam as concessões rodoviárias nacionais.

Capítulo 7: Apresenta a conclusão e considerações finais da pesquisa, bem como possibilidades de futuras análises.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Saber lidar com incertezas no planejamento de transportes é especialmente relevante no caso de projetos de infraestruturas de transporte com ciclo de vida de longa duração. Como elencado por Marchau *et al.* (2013), pode-se dividir a falta de informação sobre o futuro em quatro níveis, sendo:

- i. o primeiro, um nível em que o futuro é claro o suficiente para se vislumbrar poucas alternativas;
- ii. o segundo nível diz respeito a alternativas futuras às quais é possível atribuir uma probabilidade de ocorrência;
- iii. o terceiro, a existência de uma multiplicidade de futuros plausíveis; e
- iv. o quarto e último nível, a incerteza completa sobre o futuro, chamada muitas vezes *deep uncertainty*, em que se desconhece qual seria um melhor modelo a ser usado, ou uma distribuição de probabilidade para diferentes resultados.

Ao lidar com perspectivas de investimento de longo prazo, depara-se invariavelmente com projeções de um futuro tão incerto que não é possível prever. Como alertado por Marchau *et al.* (2013), em investimentos de longo prazo do setor de transportes, é adequado considerar futuros tão incertos como os caracterizados pelos níveis (iii) e (iv) anteriormente discriminados. Para Lyons e Marsden (2019), é premissa de que estamos vivenciando *deep uncertainty*, o que nos obriga a refletir e revisar como esse tipo de incerteza é tratada.

No planejamento, o setor de transportes tradicionalmente precisa lidar com incertezas, que poderiam ser oriundas do uso de projeções de indicadores socioeconômicos, como o produto interno bruto de determinados setores ou de determinada região. O comportamento dos preços dos produtos primários é dado pelo preço internacional das commodities, somado à taxa de juros interna e externa, por exemplo. Como prever o comportamento desses índices para um prazo de 30 anos não é tarefa trivial. Como diria Keynes (1937, p.213):

Por conhecimento “incerto”, deixe-me explicar, eu não pretendo apenas diferenciar o que se tem certeza do que é apenas provável. O jogo de roleta não está sujeito, nesse sentido, à incerteza [...]. Ou, novamente, a expectativa de vida é apenas ligeiramente incerta. [...] O sentido em que estou utilizando o

termo é aquele em que a perspectiva de uma guerra na Europa é incerta, ou o preço do cobre e a taxa de juros nos próximos vinte anos, ou a obsolescência de uma nova invenção [...]. Sobre essas questões não há base científica sobre a qual se possa calcular qualquer probabilidade. Nós simplesmente não sabemos.

Quanto maior o horizonte de tempo considerado no projeto, maior a relevância das incertezas em sua modelagem. Seu tratamento, contudo, tem sido realizado por meio de métodos tradicionais, que buscam a otimização, são preditivos e baseados em dados históricos (LYONS E DAVIDSON, 2016; LYONS E MARSDEN, 2019), que não se mostram adequados para esses níveis mais altos de incertezas.

Ao lidar com “risco”, que tem por característica a possibilidade de atribuição de probabilidades, o método de otimização pode ser adequado por considerar múltiplos estados caracterizados por uma probabilidade de ocorrência (HALLEGATTE *et al.*, 2012). Apesar de muitos trabalhos usarem o termo “risco climático” como sinônimo de “incerteza climática” ou “ameaça climática”, a presente dissertação utilizará o conceito ora apresentado, utilizando o termo “risco” para ameaças quantificáveis, diferenciando-o, portanto, das incertezas e ameaças climáticas, cujas probabilidades de ocorrência não são conhecidas. Quando necessário, no entanto, referir-se ao termo "risco" por ser esse o termo usado pelo autor citado, ou o usualmente usado na bibliografia, esse ponto será destacado, como é o caso do uso do termo de matriz de riscos e alocação de riscos em contratos de concessão.

Como dito, conforme incertezas ficam mais profundas, é menos possível caracterizar sua distribuição (ou seja, sua probabilidade de ocorrência), e perde-se confiança nas predições. Na tentativa de buscar a predição, uma solução ótima pode ser desenhada para uma situação específica (cuja existência é incerta), mas pode performar mal para outras situações plausíveis, mas não analisadas. Esse método é particularmente nocivo devido à tendência de confiar demais na habilidade do analista em prever o futuro (SLOVIC *et al.*, 1981).

Lyons e Davidson (2016) e Lyons e Marsden (2019) corroboram com a visão de que, ainda hoje, para a tomada de decisão de investimentos por planejadores e formuladores de políticas públicas em transportes, são comumente utilizadas ferramentas tradicionais preditivas na etapa de desenvolvimento e avaliação de planos, por serem as mais aceitas

pelos gestores. Destaca-se ainda, para Lyons e Marsden (2019), a existência de uma barreira institucional difícil de transpor para que esse status mude.

O uso das tradicionais ferramentas preditivas tem demonstrado limitações e falhas, ao utilizarem extrapolação de tendências e relacionamentos históricos dos dados que se conhecem hoje para elaborar as projeções futuras (LYONS E DAVIDSON, 2016). Tais projeções são apresentadas em formatos quantitativos que aparentam autoridade e precisão, porém acabam por ocultar incertezas (LYONS E MARSDEN, 2019).

Witzel (2020) reforça, ainda, que a manutenção da atitude de replicar o uso das ferramentas tradicionais no planejamento de transportes leva ao comprometimento dos novos planos a decisões tomadas previamente, conservando práticas que contribuem para manter o discurso dominante e convencional.

Ainda que o cálculo de probabilidades de mudanças climáticas futuras com base em projeções de modelos climáticos seja objeto de pesquisa (HALLEGATTE, 2012), ainda é difícil avaliar as habilidades dos modelos de prever corretamente tais probabilidades, que devem ser utilizadas com parcimônia. Ou seja, as incertezas climáticas devem ser tratadas como de mais alto nível.

Em relação às incertezas climáticas, há que se comentar as incertezas decorrentes das futuras emissões de gases de efeito estufa; de como os sistemas climáticos globais e locais reagirão a essas emissões; da resposta dos outros sistemas a esses múltiplos cenários de emissões, como os ecossistemas; de seus efeitos indiretos na sociedade e na economia em função da sua vulnerabilidade e capacidade de adaptação; e do *downscaling* dos modelos climáticos globais para os locais, que resultam em diferentes dados localizados sobre precipitação, temperatura e probabilidade de inundação, por exemplo (DITTRICH *et al.*, 2016).

A Figura 1, elaborada a partir do “IPCC WGI Interactive Atlas” (GUTIERREZ *et al.*, 2021) demonstra um exemplo de 27 modelos para a variável de dias com temperatura superior a 35°C para o Nordeste da América Latina, que coincide aproximadamente com o Nordeste do Brasil, para um dos cenários climáticos (qual seja, o SSP2-4.5), com destaque para um modelo específico, escolhido aleatoriamente (ACCESS-ESM1-5_r1i1p1f1, visto como uma linha destacada na mancha de resultados de modelos). O mesmo gráfico foi realizado para outro cenário climático (SSP3-7.0, a saber),

demonstrado na Figura 2. Para esse segundo cenário climático, há 23 modelos para a mesma região e variável.

Ambas as figuras demonstram, na área manchada, os resultados dos modelos revisados pelo IPCC para a região, sendo a área mais clara o resultado dos modelos localizados entre o percentil 10 e 90, e a área mais escura, o resultado dos modelos entre o percentil 25 e 75. A linha aproximadamente no meio da mancha representa a mediana dos valores, e a outra linha destacada, próxima ao ponto mais alto da mancha, o modelo selecionado.

Por meio da observação da área manchada de cada uma das Figuras é possível identificar a variação existente entre os modelos, que, para o ano de 2056, por exemplo, em ambas as figuras, pode-se dizer que é de aproximadamente 100 dias, considerando os valores entre o percentil 10 e 90. Os modelos destacados nas figuras demonstram que, na comparação individual entre os modelos, pode ainda haver variações maiores do que essa.

Já a comparação entre as Figuras demonstra a variação dos resultados a depender do cenário climático usado (destaca-se que a escala dos gráficos é diferente: na Figura 1, o eixo y vai de 0 a 180 dias, enquanto na Figura 2, vai de 0 a 200 dias). Na Figura 2, entre 2086 e 2100, e entre o percentil 10 e 90, há uma quantidade razoável de modelos com mais de 150 dias de temperatura acima de 35°C, enquanto na Figura 1 não há nenhum modelo nessa situação.

Além de demonstrarem visualmente as incertezas existentes a depender do modelo e do cenário utilizados, as linhas e manchas dos gráficos também demonstram que, apesar dessas incertezas, os modelos concordam com o aumento de temperatura no longo prazo.

No entanto, chama-se atenção ao fato de que, ao incorporar incertezas aos modelos, é preciso que a equipe técnica apresente os resultados de forma a evitar que análises muito complexas ocasionem uma sobrecarga cognitiva em quem avalia os resultados (LYONS e MARSDEN, 2019). Por esse motivo, assim como expandir a análise para um formato que incorpore as incertezas, é importante encontrar um mecanismo posterior estreitar a análise, de forma a ser possível lidar com a complexidade do resultado e focar no que é mais significativo, a depender da decisão que deve ser tomada. A etapa de estreitamento deve ter em vista a limitação da análise às incertezas que realmente importam na tomada de decisão, sem ocultar incertezas (LYONS e MARSDEN, 2019).

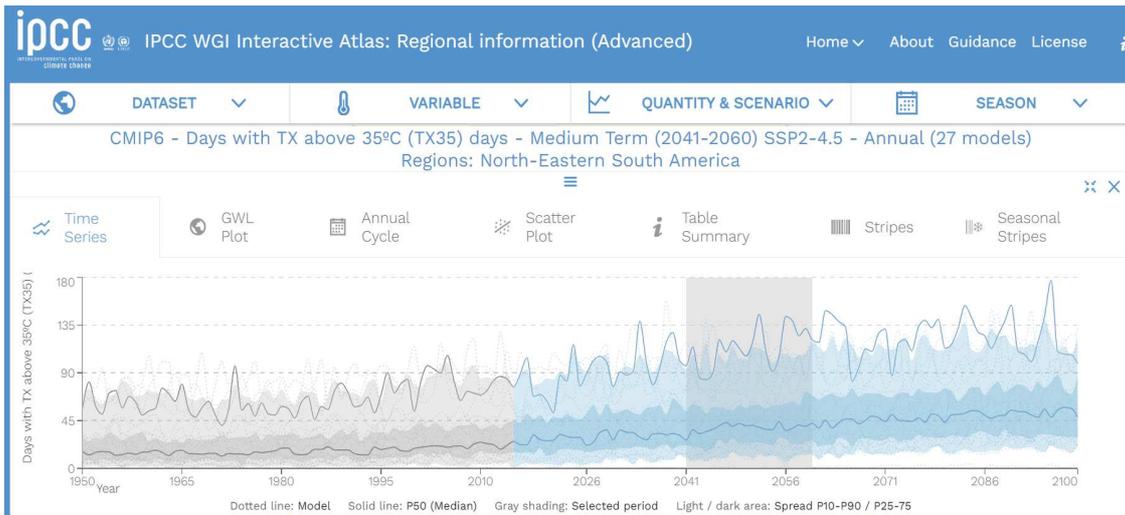


Figura 1: Dias com temperatura superior a 35°C para o Nordeste do Brasil, Modelo ACCESS-ESM1-5_r1i1p1f1, cenário SSP2-4.5. Elaborado a partir de GUTIERREZ, 2021.

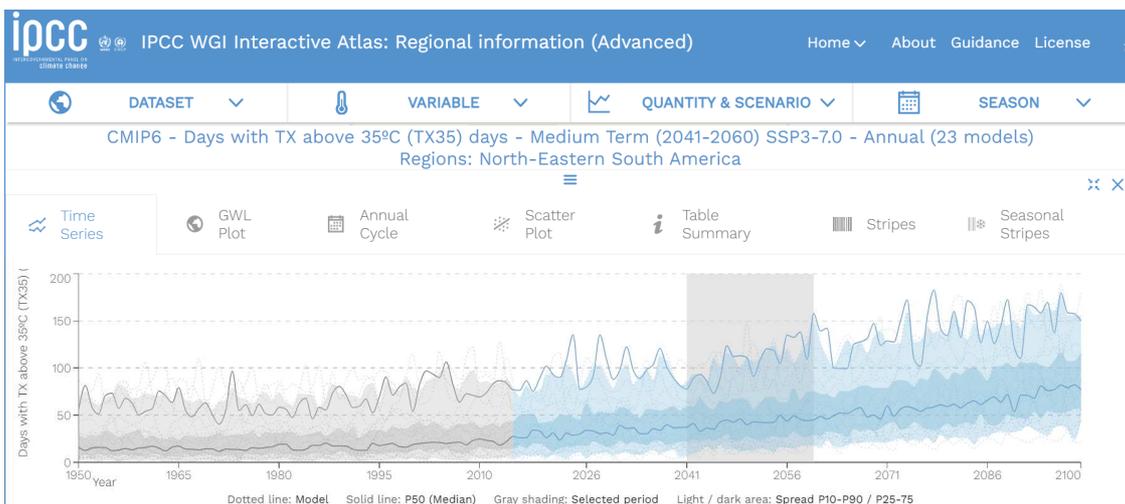


Figura 2: Dias com temperatura superior a 35°C para o Nordeste do Brasil, Modelo ACCESS-ESM1-5_r1i1p1f1, cenário SSP3-7.0. Elaborado a partir de GUTIERREZ, 2021.

Os desafios em reconhecer, representar e comunicar incertezas geram uma tensão entre conceito e prática de planejamento (MARSDEN e MCDONALD, 2019), e, por esse motivo, é importante engajar os tomadores de decisão na defesa de métodos que visem à resiliência das infraestruturas de transportes, lançando luz principalmente sobre as incertezas climáticas.

2.1 Incerteza Climática nos Transportes

Inicialmente, os estudos sobre mudanças climáticas no setor de transportes tinham como foco a redução dos efeitos dos sistemas de transportes no sistema atmosférico, ou seja, a busca por medidas de mitigação, por meio da redução da emissão de gases de efeito estufa pelo setor (WANG *et al.*, 2020; KOETSE e RIETVELD, 2012). Atualmente, ainda que a literatura seja predominantemente voltada a estratégias de mitigação (ESPINET *et al.*, 2015), já é possível observar algum aumento do número de pesquisas sobre adaptação para o setor (VAJJARAPU *et al.*, 2019; PICKETTS *et al.* 2015, KOETSE e RIETVELD, 2012), mesmo que ainda escassas (WANG *et al.*, 2020) e num estágio incipiente (VAJJARAPU *et al.*, 2019).

As iniciativas existentes apontam para o fato de que as estratégias de adaptação devem ser não só pensadas nacionalmente, mas também regional e localmente, pois são os governos infranacionais mais aptos a lidarem com seus efeitos (VAJJARAPU *et al.*, 2019).

Segundo levantamento realizado por Vajjarapu *et al.* (2019) em medidas adotadas nos Estados Unidos da América, Europa, Austrália, Nova Zelândia, Canadá, África do Sul, Brasil e Singapura, as propostas para redução de vulnerabilidades dos sistemas de transporte rodoviário envolvem melhorias de infraestrutura, de novos projetos de instalações e de gerenciamento de operações, bem como disseminação de conhecimento entre as principais partes interessadas no projeto, pesquisadores e usuários.

Medidas específicas nesses locais envolvem planos de:

- formulação de planos que garantam o acesso a hospitais e outros serviços de emergência em caso de condições climáticas adversas;
- desenvolvimento de novas metodologias de projeto de drenagem;
- criação de redes interdisciplinares de serviços públicos urbanos, regionais e nacionais, envolvendo operadoras de transporte, autoridades, administração e usuários para controle de fluxo de tráfego e distribuição do congestionamento;
- inovação em materiais de pavimento, resistentes a picos de chuvas;
- aumento de vegetação na beira da estrada;

- melhoria da resistência estrutural das camadas de estrada, de forma a evitar sulcos e lavagens;
- busca por aumento de reconhecimento entre as partes interessadas seguida por análise exploratória de sensibilidade, ameaças e vulnerabilidades do plano, visando à identificação e seleção de alternativas de adaptação, que precisam ser monitoradas para uma implementação efetiva;
- plano de uso da terra com consciência climática;
- relocação ou abandono de infraestrutura sob ameaça;
- desenvolvimento de sistemas redundantes, ou de vias alternativas, que reduzam os impactos e promovam rápida recuperação;
- desenvolvimento de plano de transferência de conhecimento entre especialistas e de iniciativas de pesquisa e desenvolvimento em projetos pilotos para adaptação;
- inclusão de resiliência a mudanças climáticas no planejamento dos governos locais, para garantir que os sistemas de transporte são robustos e permitem a proteção da comunidade às mudanças climáticas; e
- parceria com a indústria de seguros para identificar necessidades prioritárias e oportunidades.

Picketts *et al.* (2015) observaram que a maioria dos exemplos de planos de adaptação atuais são relacionados à melhoria de projeto de infraestrutura. Exemplos são a construção da Ponte da Confederação (“Confederation Bridge”), construída com cota superior à usualmente praticada para acomodar um possível aumento do nível do mar ao longo de sua vida útil de 100 anos; e a iniciativa canadense do Comitê de Vulnerabilidade da Engenharia de Infraestrutura Pública (“Public Infrastructure Engineering Vulnerability Committee” - PIEVC) voltada ao diálogo entre as comunidades jurídica, de seguros e outros profissionais sobre as responsabilidades associadas à gestão de ameaças climáticas em infraestruturas públicas.

Além disso, a produção de literatura sobre as possibilidades de adaptação é maior no Norte do que no Sul global, apesar das maiores vulnerabilidades do Sul às mudanças climáticas, em termos de escala geográfica e de quantidade de pessoas afetadas, e de suas

redes de infraestrutura em fase de expansão. Perde-se a oportunidade, nesses países, de se aproveitar o momento de expansão de capacidade para a incorporação de questões relativas à resiliência climática nas fases iniciais do projeto de infraestrutura (KOETSE e RIETVELD, 2012). Koetse e Rietveld (2012) consideram, adicionalmente, que a pressão da agenda de solução de problemas no curto prazo continuará dificultando que esses países aproveitem tal oportunidade.

2.1.1 O que impede o avanço das estratégias de adaptação

Em que pese o aumento de evidências da existência de pesquisa sobre ameaças climáticas e sobre desenvolvimento de ferramentas de adaptação adequadas às mudanças climáticas, elencam-se como desafios para o avanço da agenda de adaptação no setor de transportes: o fato de os modelos climáticos ainda não serem capazes de fornecer à equipe de engenharia dados compatíveis com as formas convencionais de tomada de decisão (JACOBS *et al.*, 2013); a carência de teorias, temas ou periódicos dominantes sobre o assunto, o que dificulta o tratamento adequado pelos planejadores, a falta de acesso a recursos financeiros pelos pesquisadores; os curtos horizontes de planejamento, normalmente de 5 a 10 anos, que não acompanham a vida útil da infraestrutura, muitas vezes de mais de 50 anos (WANG *et al.*, 2020); e a existência de déficits de infraestrutura já existentes em muitos países, que impedem o avanço da agenda, uma vez que obrigam os gestores públicos a lidar, prioritariamente, com outras restrições e hesitarem em considerar ações de adaptação que impliquem em aumentos de custos no curto prazo (PICKETTS *et al.*, 2015; KOETSE e RIETVELD, 2012).

2.1.2 Como lidar com os desafios

Para lidar com a limitação de recursos, sugere-se a avaliação prioritária dos ativos mais sensíveis às mudanças climáticas, com o estabelecimento de limites críticos em que os danos podem ser observados, e a criação de uma lista que relacione ativos físicos e variáveis climáticas em cenários climáticos a que são vulneráveis. Outra alternativa é gerar uma análise de pontos críticos de transporte que devem, obrigatoriamente, responder bem a ameaças de eventos climáticos extremos. Além disso, para melhor implementar o planejamento de ativos na adaptação climática, beneficiar todo o setor e descobrir a solução mais efetiva para cada caso, os gestores públicos devem utilizar diretrizes comuns e objetivas, e incluir pesquisadores do clima e demais partes interessadas nas discussões (WANG *et al.*, 2020).

Para investimentos irreversíveis, cujo erro tem alto custo ou quando alterações de infraestruturas requerem longos processos, sugere-se abordar a questão adiando a tomada de decisão até que os indicadores correspondentes das mudanças climáticas sejam dados com uma maior certeza. Além disso, quando possível, as medidas de adaptação devem ser implementadas por ocasião da atualização já prevista para o ativo, quando o investimento pode ser feito sem ou com pouco custo adicional (KOETSE e RIETVELD, 2012).

2.2 Impactos das mudanças climáticas nos transportes

É esperado que os impactos ocasionados pelas mudanças climáticas tenham efeitos diversos nas diferentes estruturas já construídas pela humanidade no planeta. Especificamente projetos que tomam como base dados históricos, como o histórico de chuvas, ventos, ou características dos solos, por exemplo, podem sofrer impactos relevantes se não adaptadas a novas características climáticas. Tais infraestruturas também são vulneráveis a outros eventos climáticos heterogêneos, como mudanças de temperatura, aumento do nível do mar e de outros corpos d'água, mudanças de visibilidade e período de nevoeiro, tempestades, degelo e geada (WANG *et al.*, 2020).

Meyer e Weigel (2011) destacam impactos como a elevação do nível do mar, que ameaça inundar instalações de transporte de baixa altitude como rodovias costeiras, ferrovias e portos. Também destacam o aumento do risco de inundações, furacões, ventos e tempestades mais fortes. Observam, ainda, que temperaturas muito altas podem fazer com que os pavimentos entorçam e amoleçam, que chuvas substituam a neve, aumentando problemas de drenagem, e que o aumento da frequência de ciclos de congelamento/descongelamento pode afetar os projetos de pavimento.

Ainda sobre temperatura, suas mudanças afetam a deformação e/ou estresse de cada componente do projeto da infraestrutura de forma diferente, devido à contração e expansão em resposta à mudança de temperatura que cada componente experimenta. Para estruturas, flutuações de temperatura podem ser separadas em dois componentes principais: uma mudança uniforme e um gradiente (diferença de temperatura entre o topo e o fundo de um componente estrutural). Os dois tipos de efeitos de temperatura produzem uma tensão e resultados, portanto, diferentes nos materiais de uma ponte, por exemplo (MEYER e WEIGEL, 2011).

O aumento da ocorrência de tempestades, com seus diferentes impactos, como raios, rastros de tempestade severa e granizo, tem como impacto danos à infraestrutura; bloqueio de vias; danos materiais; colisões; atrasos; deslizamentos de terra; e piora de visibilidade (WANG *et al.*, 2020). Sobre os deslizamentos de terra, há que se comentar o risco de perda de vidas para a população usuária da rodovia, bem como a lindeira.

Meyer e Weigel (2011) apresentam estudos realizados no sistema de transporte de Seattle, que declaram que as variações climáticas que mais impactarão as infraestruturas de transporte são o aumento da média anual dos eventos de chuvas; aumento da intensidade dos eventos de chuvas e de tempestade; aumento da frequência dos eventos de tempestade; aumento do nível do mar; e aumento da temperatura média da superfície. Foram identificados como componentes mais vulneráveis às mudanças climáticas nessa cidade as pontes e bueiros; calçadas e rodovias costeiras; pavimentos; drenagem superficial; e encostas. Foi identificado também que as pontes da cidade estavam em alto risco de expansão térmica causada por temperaturas mais quentes, e aumento de erosão nas suas fundações e deterioração do pavimento atribuídos ao aumento dos níveis de precipitação e do aumento do nível do mar.

Tais impactos climáticos têm implicações generalizadas para o projeto, planejamento, operações, especificações de materiais, manutenção, rede e projeto do veículo (WANG *et al.*, 2020).

Pesquisas apontam para as perdas econômicas de se tomar uma postura reativa quanto aos impactos das mudanças climáticas, ao postergar os investimentos para após a concretização desses eventos, ao invés de uma postura proativa, em que as ameaças são previamente consideradas nas avaliações de planos de investimentos.

Sobre o assunto, Schweikert *et al.* (2014) e Twerefou *et al.* (2015) avaliaram o custo da estratégia de adaptação e de não adaptação nas estradas da África do Sul e de Gana, respectivamente, considerando custos de manutenção e reparo de vias. Para a África do Sul, Schweikert *et al.* (2014) demonstraram que a não implementação de estratégias de adaptação resultará num custo anual estimado de US\$ 163,2 milhões na década de 2090, enquanto o uso de estratégias adaptativas resultará num custo anual de US\$ 56,8 milhões na mesma década. Os resultados observados para as décadas anteriores também apresentam custos superiores para a hipótese de não-adaptação. Ou seja, a necessidade de

realização de investimentos de forma reativa, após a concretização do evento climático extremo, é maior que no caso de realização de investimentos preventivos.

Para Gana, o custo anual da não-adaptação será de US\$ 76 milhões e o da adaptação, US\$ 55 milhões, na década de 2090, embora, para aquele país, as estimativas dos custos iniciais da adaptação sejam mais altas, o que resultará num custo cumulativo de 2020 a 2100 maior para a adaptação do que para a não-adaptação (cumulativamente, os valores são de US\$ 678 milhões e US\$ 473 milhões, respectivamente). Apesar de, cumulativamente, os custos serem maiores no cenário de adaptação, a avaliação demonstra que os custos de longo prazo de manutenção e reparo são maiores na hipótese da não adaptação. Possivelmente, a extensão da análise para anos posteriores a 2100 poderia igualar esses valores. Além disso, como destacado pelos autores, a análise desconsidera as perdas econômicas incorridas no cenário de não-adaptação, ocasionadas, por exemplo, por estradas inacessíveis até sua completa manutenção. Somadas aos custos de investimentos da não-adaptação, as perdas econômicas podem exceder os custos com a adaptação. Ou seja, é preciso aprofundamento nos estudos para obter-se uma resposta categórica quanto ao menor custo da estratégia reativa em relação à proativa frente à adaptação às mudanças climáticas.

Meyer e Weigel (2011) observam que é provável que mudanças relevantes no intervalo normal ou nos extremos das temperaturas que poderão prejudicar os materiais hoje usados em infraestruturas de transportes acontecerão num prazo de 40 a 100 anos, maior que a média do ciclo de vida da maioria dos componentes de infraestrutura de transporte.

Segundo informado no Relatório de Cambridge Systematics (MEYER e WEIGEL, 2011), o aumento da temperatura provável em 2050 não irá desafiar para o projeto de pavimento, mas a mudança de temperatura até 2100 pode tornar o projeto de hoje ineficiente. Existe alguma chance, no entanto, de pesquisas em propriedades e características de materiais encontrarem soluções para projetos de pavimento em condições de temperatura mais altas.

Meyer e Weigel (2011) destacam também a necessidade de observação dos projetos de pontes e bueiros, vulneráveis a mudanças de padrões de chuvas, intensidade de tempestades, escoamento, fluxo de carga de transporte de sedimentos, e aumento do nível do mar. Essas estruturas rígidas possuem ciclo de vida e custo de reparo ou troca maiores que a média da rodovia. As inundações ocorridas devido a eventos mais frequentes e

severos de precipitação merecem também maior destaque por acumularem os efeitos adversos da urbanização crescente sobre a infiltração da água da chuva nos solos. (VAJJARAPU *et al.*, 2019)

A consolidação de solos saturados também deve ser considerada na análise de subpavimentos. O aumento do nível dos oceanos pode afetar as fundações de pontes e outras estruturas dependentes de suporte de fundações profundas (MEYER e WEIGEL, 2011).

Pelo exposto, para lidar com os impactos climáticos, de forma a manter as infraestruturas de transportes em condições de uso, ou resilientes, há que se pensar em propostas de adaptação. Considerando-se infraestruturas existentes, a gestão da adaptação climática deverá levar em conta os ciclos de vida das infraestruturas de transportes.

Elementos de pavimento, por exemplo, terão ciclos de vida inferiores aos períodos em que possivelmente a mudança climática poderá ser observada e impactar seus projetos. Portanto é factível que elas sigam os projetos que já são utilizados hoje, para alterações num momento próximo, em que o futuro será menos incerto. Por esse motivo é importante desenvolver um processo de identificação de vulnerabilidades e deterioração de performance no caso de mudanças de condições ambientais para tais infraestruturas, para que os apropriados ajustes em projeto, construção e manutenção possam ser efetivamente implementadas no momento mais adequado.

No entanto, outras infraestruturas de transportes, com ciclos de vida mais longos, precisam ser avaliadas de outra maneira na estratégia de adaptação às mudanças climáticas, para que os gestores públicos não sejam surpreendidos com necessidades de mudanças após a ocorrência das alterações climáticas. Para elas, há que se avaliar os impactos das mudanças climáticas e decidir, com essa informação, pelo momento mais oportuno para investimento: se no momento de sua atualização programada, se antes disso, ou até mesmo após a ocorrência da alteração climática, mas de forma planejada e não desavisada.

Ainda, é importante registrar os diferentes efeitos que as mudanças climáticas terão sobre os usuários e população residente no entorno das infraestruturas rodoviárias. Levy e Patz (2015) alertam para as consequências negativas que podem ocorrer à produção agrícola, ao acesso a água potável e à produtividade dos trabalhadores, bem como a efeitos

adversos relacionados à saúde como doenças transmitidas por vetores, pelos alimentos, pela água, entre outras. As pessoas mais vulneráveis a tais consequências e que provavelmente sofrerão mais seus impactos são as residentes de países mais pobres e as residentes de comunidades pobres de países de rendimentos mais elevados, membros de grupos minoritários, crianças, idosos, mulheres, povos indígenas, pessoas com deficiências, portadoras de doenças crônicas, que residem em áreas marginalizadas e com prevalência de doenças relacionadas ao clima, desempregadas, e trabalhadores expostos ao calor extremo ou vulneráveis ao aumento da variabilidade climática.

Portanto, destaca-se também a importância de incluir, na estratégia de adaptação às mudanças climáticas, a avaliação dos impactos das mudanças climáticas na população vulnerável localizada no entorno da infraestrutura rodoviária em análise.

3. PROPOSTA DE PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Para a elaboração da dissertação, primeiramente, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre as incertezas nos projetos de transportes. A seleção dos documentos sobre incertezas climáticas e adaptação nos transportes foi realizada posteriormente, por se considerar que os documentos sobre incertezas em geral possuíam conteúdo relevante para a pesquisa, o que foi comprovado posteriormente.

De forma a avaliar se o tema de adaptação a mudanças climáticas já se encontra presente nos editais de concessões rodoviárias federais e estaduais no país, foi realizada a revisão documental dos documentos mais recentes que embasaram tais concorrências, bem como do plano de longo prazo do setor.

3.1. Revisão bibliográfica

Para a realização da revisão bibliográfica, foram utilizadas 3 bases acadêmicas para busca do referencial teórico: Scopus, Web of Science e Science Direct. Numa primeira busca, nos campos de título, resumo e palavras-chave dos documentos, foram inseridos os termos “Transport” e “Uncertainty”, o que resultou em 42.536 documentos (somando-se a quantidade encontrada em cada uma das bases, sem remover as ocorrências sobrepostas). Desses, 30.218 tratavam de artigos, que foi o tipo de publicação de interesse para a pesquisa. Posteriormente, foram selecionados apenas os artigos que também continham as palavras “forecast” ou “policy” ou “freight” nesses mesmos campos, com que a amostra foi reduzida para 5.047 itens. Com a seleção de artigos posteriores ao ano 2000, a amostra passou para 4.486 documentos.

Foi observado que muitos desses artigos (mais de 1.000 apenas da base Scopus, por exemplo), diziam respeito à área “Environmental Science”, a maioria deles tratando de mudanças climáticas e outros assuntos relativos ao meio ambiente. Seguiu-se ao filtro dos artigos por áreas de conhecimento, com o filtro “Engineering” nesse campo do Scopus e do Science Direct e “Transportation” no campo da Web of Science. Com isso, a amostra reduziu-se de maneira relevante, para 1.036 artigos.

Para o refinamento posterior da amostra, seguiu-se à avaliação dos resumos dos documentos mais citados com cada uma das palavras-chave “forecast”, “policy” e “freigh”. Observou-se que os documentos que continham o termo “forecast” eram os mais aderentes à pesquisa ora proposta e, por esse motivo, foram selecionados apenas

documentos com essa palavra, além de “transport” e “uncertainty”. Foram então encontrados 212 artigos, dos quais, desconsiderando-se as duplicadas, chegou-se a 202 artigos e 627 autores, que foram os documentos exportados para o Mendeley e usados para o refinamento posterior. A Tabela 1 apresenta o resumo dos passos descritos anteriormente.

Tabela 1: Etapas da revisão bibliométrica
Fonte: Elaboração própria

	Tít., Resumo e Pal.Chave = Transport AND Uncertainty	Apenas artigos	Tít., Resumo e Pal.Chave = Transport AND Uncertainty AND (forecast OR policy OR freight)	Ano 2000 a 2021	Assunto = Engeneering / Transportation	Tít., Resumo e Pal.Chave = Transport AND Uncertainty AND forecast
Scopus	19.377	14.331	3.501	3.307	817	154
Web of Science	18.317	15.663	1.516	1.449	215	57
Science Direct	4.842	224	30	30	4	1
Total (Com duplicatas)	42.536	30.218	5.047	4.786	1.036	212

A avaliação dos artigos extraídos do Mendeley em formato xml demonstrou que o assunto é recente: 88% deles estão concentrados em anos posteriores a 2010, incluindo 2010, e 65% em anos posteriores a 2015.

Avaliando-se as palavras-chave dos 202 artigos no software VOSViewer, foi possível conferir (Figura 3 e 4) que o cluster de palavras mais relevante para o trabalho, cujo tema central é “Uncertainty Analysis”, se relaciona fortemente aos termos “climate change”, “carbon sequestration”, “carbon dioxide” e “carbon emission” e o que indica que as pesquisas se relacionam, de fato, com questões de mudança climática e sustentabilidade. Destaca-se que a Figura 4 contém a mesma ilustração da Figura 3, porém com maior proximidade para possibilitar a leitura de mais títulos de pontos.

A Figura 5 apresenta os grupos de palavras por ano de publicação. A Figura permite observar que o tema relacionado ao clima é mais recente que os demais.

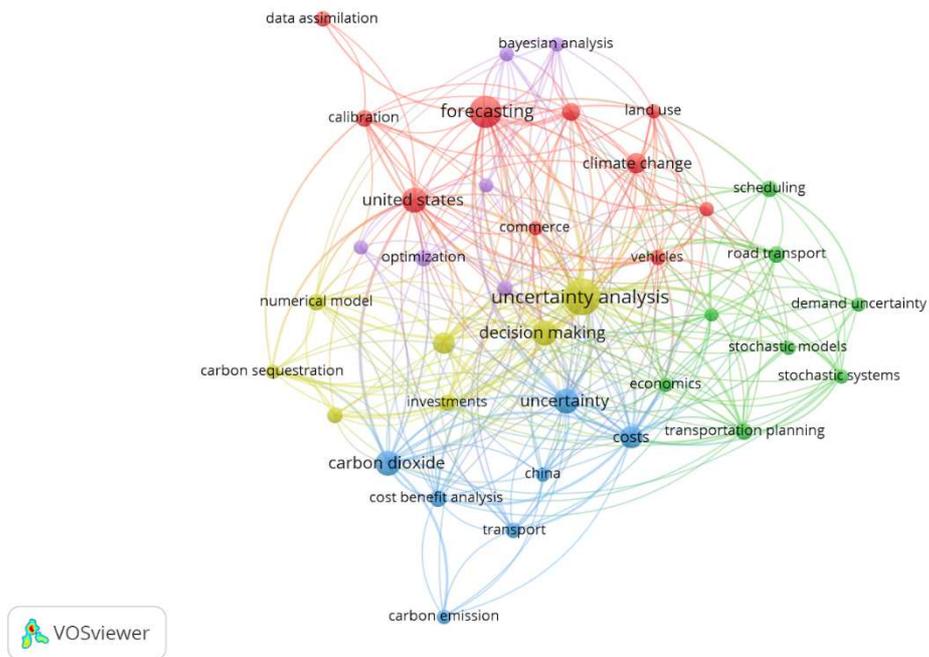


Figura 3: Palavras-chave mais relevantes e suas conexões
 Fonte: Elaboração própria no *software* VOSViewer

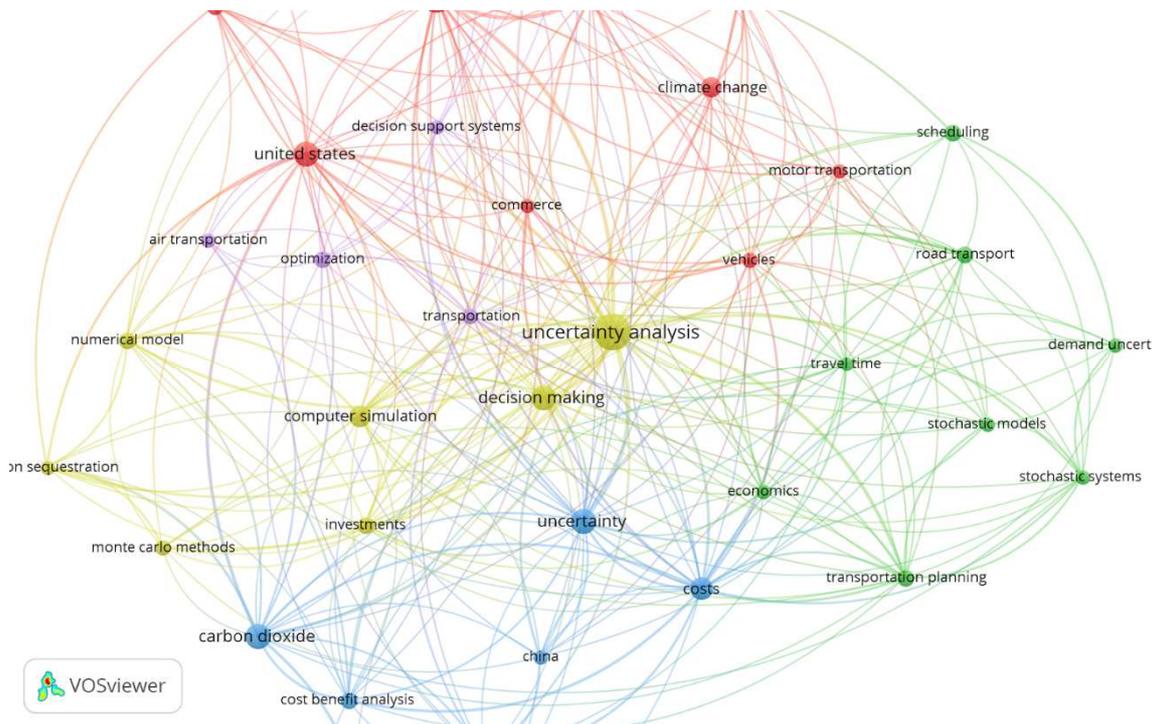


Figura 4: Cluster de palavras-chave mais relevantes
 Fonte: Elaboração própria no *software* VOSViewer

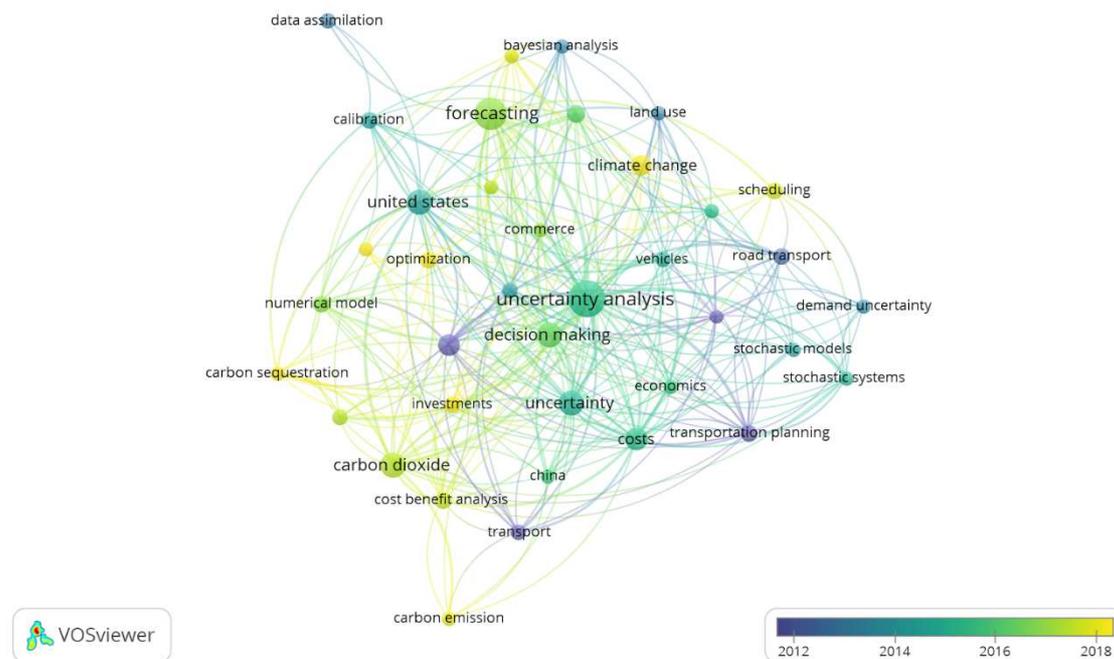


Figura 5: Palavras-chave mais relevantes e suas conexões, por ano de publicação
 Fonte: Elaboração própria no *software* VOSViewer

A avaliação dos periódicos mais frequentes apresenta a predominância do periódico intitulado “Transportation Research Part A: Policy and Practice”. Os dez periódicos mais frequentes são dedicados a transporte e a energia, produção limpa, e meio ambiente, corroborando com a observação de relevância de textos sobre incerteza que abordam a questão ambiental.

A decisão tomada a partir das visões referentes aos autores (clusterização do VOSViewer e citações) foi prosseguir com a leitura dos títulos de cada uma das publicações para refinar mais os dados, pois a avaliação dos autores foi inconclusiva.

O refinamento realizado pela leitura dos títulos resultou na redução da base para 43 artigos, de 101 autores. Destes, 17 foram considerados mais relevantes para a pesquisa.

Como dito anteriormente, além da revisão de literatura, a pesquisa contou também com a revisão documental de documentos que embasam as concessões de infraestruturas rodoviárias nacionais, em seus níveis federal e estadual, de forma a avaliar se as incertezas climáticas estão sendo consideradas, ou não, no planejamento de investimento dos próximos 30 anos dessas infraestruturas. A seguir a revisão documental é apresentada.

3.2. Revisão documental

Para embasar a proposição de preço da licitação (quer seja máximo de tarifa cobrada do usuário, mínimo de outorga privada ou máximo de pagamento público), o ente público responsável pela infraestrutura rodoviária cuja prestação de serviços é objeto do certame deve realizar uma série de estudos técnicos, que costumeiramente envolvem, entre outros: levantamento de campo de demanda, levantamento do cadastro da rodovia, levantamento de campo socioambiental, projeção de demanda, estudo de engenharia, estudo socioambiental, estudos jurídicos, modelo operacional e o modelo de avaliação econômico-financeira. Tendo como base esses estudos, são elaborados o edital, minuta de contrato, programa de exploração rodoviária (PER), e seus anexos, aqui denominados “documentos editalícios”, que devem ser seguidos pelo vencedor da licitação ao longo de todo o prazo do contrato.

Como as concessões têm, costumeiramente, prazo de duração de 30 anos (prazo em que já se espera vivenciar os efeitos das mudanças climáticas) e muitas vezes preveem a construção de estruturas com ciclo de vida ainda superior a esse prazo, os estudos e documentos editalícios podem ser usados como evidências de incorporação, ou não, desses efeitos no planejamento público de infraestruturas de transportes rodoviários.

A escolha dos documentos foi feita com base na sua atualidade, relevância em termos de investimentos, extensão e prazo, e diversidade locacional, o que resultou na análise de onze documentos editalícios.

Para chegar a tal grupo de projetos, inicialmente, foram selecionados todos os leilões de concessões rodoviárias com prazo igual ou superior a 30 anos, ocorridos de janeiro de 2021 a agosto de 2023, na B3 (B3, 2023), o que resultou num universo de 14 certames. De forma a obter um grupo de projetos ao mesmo tempo diverso regionalmente, relevante em investimentos e extensão, e recente, desse total de 14 certames, foram excluídas: i. concessões com extensão e valor estimado de contrato (para rodovias sem essa última informação no edital ou no contrato, foi considerado o valor estimado de investimento como comparação) no primeiro quartil (respectivamente, menores que 310 km e R\$ 2,8 bilhões, a preços corrigidos pelo IPCA até agosto de 2023); e ii. concessões com extensão ou valor de contrato no primeiro quartil, em região geográfica com outra representante na seleção, e com leilão ocorrido de janeiro de 2021 a dezembro de 2022 (ou seja, foram mantidos os leilões de 2023). Os critérios resultaram na exclusão da Rodovias

Transcerrados e Estrada Palestina (Piauí, 2021); Lote Sul de Minas Gerais (Minas Gerais, 2023a); e Rodoanel BH (Minas Gerais, 2023b).

Também foi avaliado o Plano Nacional de Logística – PNL 2035 (BRASIL, 2021c), que congrega o planejamento federal do setor e é usado como referência para qualificação dos trechos para o programa de concessões rodoviárias federal. Os documentos, por fim, selecionados para avaliação estão listados na Tabela 2.

Tabela 2: Documentos Revisados
Fonte: Elaboração própria

Projeto	Localização	Prazo da concessão (anos)	Mês de leilão (ou aprovação para PNL)	Extensão (km) / Valor do contrato (R\$ bilhões)	Autoria
Plano Nacional de Logística 2035 - PNL	Nacional	Não se aplica	10/2021	Não se aplica	Brasil, 2021c
BR-153/080/414	TO/GO	35	04/2021	850,7 / 10,0	Brasil, 2020b
BR-116/101 (Dutra)	SP/RJ	30	10/2021	625,8 / 18,9	Brasil, 2022
Rodovias RS Bloco 3	RS	30	04/2022	271,5 / 4,3	Rio Grande do Sul, 2022
BR 116/493/465	RJ/MG	30	05/2022	726,9 / 12,5	Brasil, 2023b
Rodovias MG Triângulo Mineiro	MG	30	08/2022	627,4 / 4,1	Minas Gerais, 2022
Noroeste Paulista	SP	30	09/2022	599,8 / 10,6	São Paulo, 2022a
MS-112/BR-158/BR-436	MS	30	11/2022	412,4 / 1,9	Mato Grosso do Sul, 2022
PA-150	PA	30	03/2023	526,4 / 3,2	Pará, 2023
Rodoanel Norte SP	SP	31	03/2023	42,9 / 3,5	São Paulo, 2022b
Rodovias MG Varginha-Furnas	MG	30	05/2023	432,8 / 2,8	Minas Gerais, 2023c
Rodovias Integradas do Paraná – Lote 1	PR	30	08/2023	473,0 / 8,8	Brasil, 2023c

Na sequência serão exploradas as formas de tratamento de incertezas encontradas na literatura pesquisada.

4. TRATAMENTO DE INCERTEZAS

Os projetos que precisam lidar com os mais altos níveis de incerteza, como é o caso das incertezas climáticas em projetos de infraestruturas de longo prazo, devem estar preparados para enfrentar situações muito díspares e, ainda assim, apresentarem um resultado favorável. Acima de tudo, tais projetos não podem abrir flanco para a possibilidade de ocorrência de catástrofes para a população usuária da infraestrutura, ou que transite ou resida em seu entorno.

Com o objetivo de obter respostas mais favoráveis às questões de adaptação a mudanças climáticas, Weaver *et al.* (2013) apontam para a importância de se utilizar modelos climáticos de forma mais intensiva, por exemplo considerando um conjunto maior de modelos climáticos, comparando resultados de técnicas de *downscaling*, ou, ainda, executando uma análise de sensibilidade mais profunda para os componentes da modelagem.

Para que os diferentes cenários plausíveis (assim como os não cogitados), sejam atendidos na execução dos projetos e planos, as políticas utilizadas devem ser dinâmicas, flexíveis e adaptáveis, e não estáticas. Dito de outra maneira, a ideia, para esse nível alto de incerteza, não é especificar a política “ótima” e irreversível para a melhor estimativa do futuro, mas sim desenhar uma estratégia que seja flexível e adaptável (HALLEGATE, 2012; MARCHAU *et al.*, 2013).

Tal estratégia também deve ser resistente e resiliente, com uma boa performance em todos os futuros, e mecanismos de proteção em caso de possíveis falhas (MARCHAU *et al.*, 2013). O que se observa na prática, no entanto, é que no desenvolvimento de políticas não se utilizam cenários (LYONS e MARSDEN, 2019); que o planejamento de transportes não se utiliza de políticas dinâmicas e adaptáveis (MARSDEN e MCDONALD, 2019); e que há uma tendência de exclusão de futuros pessimistas, que no entanto são necessários para a elaboração de planos de contingência (MARCHAU *et al.*, 2013). Sobre essa afirmação, recomenda-se a leitura do Capítulo 5 – Resultados da Revisão Documental.

Como deve atender a diferentes futuros, há que se incluir no plano, também, um método para monitoramento e avaliação de indicadores que apontem para uma possível mudança de rota quando atingirem determinado valor, denominado “gatilho”. (MARCHAU *et al.*, 2013).

Há diferentes opções de abordagens dinâmicas e flexíveis na literatura para o tratamento de incertezas profundas. Importante destacar que diferentes abordagens funcionarão bem em diferentes circunstâncias, a depender, por exemplo, da escala de tempo, disponibilidade de dados, e do tempo disponíveis ao tomador de decisão (DITTRICH *et al.*, 2016).

A seguir são apresentadas as principais abordagens encontradas na literatura, não excludentes entre si, para tratamento das incertezas de mais alto nível.

4.1 Redução de horizontes de tempo de tomadas de decisão

Uma alternativa para lidar com a incerteza em relação a condições climáticas futuras e os custos relativos à irreversibilidade dos investimentos é, quando possível, reduzir o tempo de vida dos investimentos, uma vez que, quanto mais distantes no tempo, maior é a incerteza climática envolvida na tomada de decisão (DITTRICH *et al.*, 2016; HALLEGATE *et al.*, 2012).

Essa é uma estratégia já implementada no setor florestal, por exemplo, em que se pode optar por espécies com menor tempo de rotação, o que, apesar do custo, é uma opção interessante dado que a escolha das espécies é irreversível. Em outros setores, muitas vezes também é possível evitar compromissos de longo prazo e escolher decisões de curta duração (HALLEGATE *et al.*, 2012).

4.2 Opções Reais

Os investimentos são, muitas vezes, irreversíveis, ou seja, após realizados, não é possível recuperar o valor total de capital e outros recursos investidos. Ao contrário, a espera é, na maioria das vezes, reversível, o que faz com que o adiamento da decisão de investir tenha um valor (DITTRICH *et al.*, 2016).

Por exemplo, permitir o desenvolvimento urbano de uma área suscetível a inundações é uma escolha irreversível, que pode implicar em custos futuros para remoção das pessoas, ao passo que optar por não urbanizar é reversível, embora possa implicar custos imediatos devido à possível perda de oportunidades de um investimento lucrativo. Há, portanto, um valor da reversibilidade de uma estratégia, ou o "valor da opção", a ser considerado. Esse é um princípio da teoria das Opções Reais, originado no mercado financeiro (HALLEGATE *et al.*, 2012).

Ao contrário dos métodos de avaliação tradicionais, tal abordagem não resulta em uma única saída considerada “ótima” e que possivelmente será mais barata nos anos iniciais, mas fornece estratégias flexíveis, que podem seguir diferentes caminhos (por exemplo climáticos), ajustáveis ao longo do tempo (DITTRICH *et al.*, 2016).

Apesar de possivelmente requererem mais investimentos nos anos iniciais, essa é uma alternativa adequada para alto nível de incerteza, dada a dificuldade de atribuir probabilidades aos cenários, e que atende ao objeto desta pesquisa: investimentos de longo prazo, alto vulto, com alto impacto ambiental e socioeconômico, localizados num país em desenvolvimento, equatorial e tropical, ou seja, bastante sensível às mudanças climáticas.

A implementação do método de opção real requer tomadas de decisão em pelo menos dois períodos, pois os custos e benefícios do(s) investimento(s) posterior(es) depende(m) da(s) decisão(ões) tomada(s) no(s) período(s) anterior(es), resultando numa árvore de decisão. A escolha ótima feita durante o período posterior é determinada pela escolha feita no período anterior.

Como benefícios, a abordagem pode ser utilizada em conjunto com uma análise de custo-benefício usual, mas permite a avaliação objetiva de oportunidades criadas e destruídas (HALLEGATE *et al.*, 2012); e já possui exemplos de aplicações diferentes das utilizadas no mercado financeiro (DITTRICH *et al.*, 2016).

Como restrições, a abordagem considera que ao menos parte da incerteza será resolvida com o tempo; e pode envolver um certo grau de complexidade, devido à necessidade de se lidar com vários conjuntos de decisões (HALLEGATE *et al.*, 2012; DITTRICH *et al.*, 2016).

4.3 Robustas

Um processo de tomada de decisão robusta envolve a seleção de um projeto ou plano que apresenta menos vulnerabilidades em diferentes cenários, segundo objetivos previamente definidos (HALLEGATE *at al.*, 2012). Na seara de adaptação a mudanças climáticas, a estratégia mais robusta é aquela que resulta no menor arrependimento, ou, em outras palavras, aquela menos sensível a incertezas (ESPINET *et al.*, 2015).

Após a definição dos objetivos, a abordagem sugere a exploração das sensibilidades e vulnerabilidades de cada plano, ou projeto, a determinadas variáveis. A abordagem se utiliza da interação com as partes interessadas de forma constante, bem como se utiliza de um processo iterativo, em que as vulnerabilidades de cada plano já analisado podem ser reduzidas após a identificação de alternativas para elas. Os planos que se mostram mais robustos aos futuros considerados plausíveis são, então, apresentados aos tomadores de decisão (HALLEGATE *et al.*, 2012).

Em comparação com as técnicas de otimização, as abordagens robustas requerem mais análises, mas proporcionam um melhor conhecimento dos riscos e incertezas, sem ignorá-los. (DITTRICH *et al.*, 2016; HALLEGATE *et al.*, 2012).

Cada plano analisado e não selecionado resulta em algum nível de vulnerabilidade remanescente. A estratégia com menor valor presente líquido (soma dos custos de investimentos com adaptação com o custo de reparação durante a vida útil) é a mais desejável economicamente (ESPINET *et al.*, 2015).

Como benefícios, a abordagem resulta numa análise de vulnerabilidade extensa dos projetos, sem que as incertezas sejam mascaradas como nas técnicas preditivas; possui a participação ativa das partes interessadas; e oferece possibilidade de redução de vulnerabilidades de projetos conforme a análise é executada (HALLEGATE *et al.*, 2012).

Como restrições, destacam-se a intensidade em tempo e custo (HALLEGATE *et al.*, 2012); e a necessidade de uso de grande quantidade de dados e ferramentas complexas, o que implica em sua utilização apenas quando o tamanho, impactos e vulnerabilidades do projeto justificarem o esforço (DITTRICH *et al.*, 2016).

4.4 Medidas contratuais

Uma vez que nenhuma estratégia pode distribuir de forma eficiente as incertezas de todas as contingências no momento da contratação, as partes ajustam o esquema de alocação de incertezas (comumente, nos contratos, denominada “alocação de riscos”) de forma a acomodar eventos subsequentes. Os riscos e incertezas são alocados para a parte que é mais capaz de influenciá-la, mas, se as contingências são incertas e as duas partes são avessas ao risco, um esquema de compartilhamento de risco e incerteza pode ser utilizado (SCOTT, 1987).

Para o Banco Asiático de Desenvolvimento - ADB *et al.* (2016), o sucesso da elaboração de uma concessão de serviços de infraestrutura envolve, entre outros termos, evitar a concretização de falhas de projeto ou minimizar as consequências dessas falhas. Para tal, projeto e contrato devem ser flexíveis o suficiente para enfrentar as incertezas, que devem ser o máximo possível determinadas previamente, com vistas a conceder incentivos ao parceiro privado, e evitar que o poder público concedente seja obrigado a assumir determinada perda, no todo ou em parte, sem a devida previsão orçamentária para tal.

Como observado para o setor de portos por NG *et al.* (2018), dada a natureza dos impactos das alterações climáticas, que poderão levar um longo período para se concretizarem (em comparação com o planejamento portuário e a maioria dos contratos de concessão), uma operadora de terminal privada pode ter dificuldade em justificar o uso de seus recursos em medidas de adaptação para possivelmente beneficiar apenas o futuro titular da concessão.

Por esse motivo, considerando as externalidades positivas dos investimentos em adaptação, caberá ao poder público concedente da infraestrutura avaliar as vulnerabilidades do projeto às mudanças climáticas e garantir contratualmente a execução dos investimentos em adaptação que julgar necessários, no momento que julgar necessário.

Uma das saídas para o tratamento das incertezas relativas à execução do contrato é seu tratamento nas matrizes de alocação de risco entre a concessionária de rodovias e o poder público concedente. Os contratos de concessão de infraestruturas rodoviárias nacionais costumam possuir dispositivo dedicado ao detalhamento dessa matriz (Brasil, 2020b; Brasil, 2022; Brasil, 2023a; Brasil, 2023b; Mato Grosso do Sul, 2022; Minas Gerais, 2023c; Pará, 2023; Rio Grande do Sul, 2022; São Paulo, 2022a; São Paulo, 2022b).

Obrigações contratuais, quer estejam presentes na matriz de risco ou em outras cláusulas contratuais, podem ser relevantes no contexto de obrigação de investimentos que visem à adaptação a mudanças climáticas, que podem ter seu benefício observado apenas após findo o prazo daquela concessão.

4.5 Avaliação de resiliência climática do projeto

O Banco Mundial (THE WORLD BANK GROUP, 2021) considera que, para mudança climática de longo prazo e para desastres excepcionais, a incerteza é normalmente tão

grande que é difícil determinar o que é impossível ou improvável e, para tais tipos de incerteza, é importante usar cenários na tomada de decisão. Por esse motivo, e pela relevância que dá à análise da mudança climática nos projetos que apoia, a instituição elaborou um sistema de *rating* (Sistema de Avaliação de Resiliência, ou *Resilience Rating System* – “*RRS*”, em inglês), cujo propósito é garantir que os riscos climáticos residuais nos projetos são transparentes para tomadores de decisão, não ameaçam a receita líquida do projeto, e são geridos apropriadamente.

O RRS adota avaliações de C a A+ para caracterizar a resiliência do projeto, caracterizada pela confiança em se evitar baixa performance financeira, ambiental e social, comparado ao esperado. Uma classificação de risco alta denota maior confiança de que o investimento irá atingir a taxa de retorno esperada, e que o projeto continuará benéfico, apesar dos impactos de mudanças climáticas. Uma classificação baixa indica que os impactos de desastres e mudanças climáticas não foram adequadamente abordados, então há um maior risco de performance abaixo da esperada.

Em termos de cenários climáticos, The World Bank Group (2021, p.104, tradução própria) sugere que

a escolha da opção otimista e pessimista deve seguir os importantes princípios: é melhor superestimar que subestimar a incerteza[;] [...] é importante considerar um grande intervalo de futuros possíveis, quando um projeto pode ter impactos catastróficos[;] [...] os cenários sem ou de baixo impacto e de alto impacto podem ser plausíveis, mas deve-se ter em mente que a maioria das pessoas tende a ser conservadora em relação ao que é possível no futuro, [...] relegando a segundo plano a plausibilidade de mudanças estruturais massivas[; e] [...] um projeto que falhe nos cenários de alto impacto pode ainda assim ser um projeto muito bom, desde que tenha um bom retorno em cenários mais otimistas e que a falha não resulte numa catástrofe.

Para projetos que continuarão além de 2040, a instituição recomenda que sejam utilizados o RCP 6.0 como um cenário de emissões pessimista, e o RCP 2.6 como um cenário de emissões otimista. A instituição recomenda explorar os resultados de ao menos cinco modelos climáticos dos principais centros de pesquisa climática principais antes de selecionar os cenários.

Para fazer a avaliação, é considerado o setor, política e contexto socioeconômico do projeto, capacidade de resposta local e nacional, maturidade de políticas regulatórias e transparência.

Os princípios para obtenção de um rating + são os mesmos princípios considerados indispensáveis pela instituição para tomada de decisão sob profunda incerteza (THE WORLD BANK GROUP, 2021, p.55, tradução própria), que incluem: “aceitar (ao invés de ignorar) incerteza”; “considerar cenários de baixa probabilidade”; e “garantir um processo de tomada de decisão robusto”. A instituição sugere a avaliação das vulnerabilidades do projeto, a consideração de eventos de baixa probabilidade, e o envolvimento das partes interessadas além dos planejadores, num processo diferente da tomada de decisão tradicional, de forma a gerar projetos mais resilientes. Mas ressalta a importância de avaliar o processo quanto a outros custos e benefícios.

Este é um exemplo de uma política já existente de avaliação de risco climático para concessão de apoio de uma instituição relevante para o desenvolvimento mundial. A criação de sistemas de avaliação de risco climático por outras instituições de apoio também é esperada.

Ainda, com vistas a permitir a avaliação dos impactos da incerteza climática na sustentabilidade financeira das empresas, foram elaboradas pela *International Sustainability Standards Board (ISSB)* orientações para a divulgação de informações relacionadas ao clima, em termos de como as empresas enfrentam as questões relacionadas a adaptação e mitigação em sua área de atuação (IFRS FOUNDATION, 2023). Os investidores, apoiadores e demais partes interessadas poderão encontrar tais informações em relatórios elaborados pelas empresas que aplicarem a norma, denominada IFRS S2, e, com isso, será possível avaliar de forma comparável e padronizada os riscos climáticos e as formas de enfrentamento encontradas pelas empresas.

4.6 Gerenciamento adaptativo de sistemas de transportes

Considerando a escassez de recursos, Meyer e Weigel (2011, p.398, tradução própria) definem que o primeiro passo no gerenciamento da adaptação em sistemas de transportes é “identificar os ativos críticos para o desempenho da rede ou que são importantes para o atingimento de outros objetivos, como, por exemplo, desenvolvimento econômico”, que podem ser aqueles que ligam centros relevantes, que contém rotas de evacuação, que são antigos, ou que simplesmente possuem altos volumes de tráfego, entre outros.

O segundo passo é utilizar ferramentas de *downscaling* para identificar os efeitos das mudanças climáticas nas condições ambientais locais. O terceiro passo é identificar as vulnerabilidades do sistema de transporte. No quarto passo, deve-se realizar uma avaliação de risco e incerteza, inclusive com a avaliação dos riscos e incertezas de falha na infraestrutura. No quinto, deve-se avaliar a viabilidade e relação custo-efetividade de estratégias e, no sexto passo, identificar os níveis de gatilho para execução das alterações com vistas à adaptação das infraestruturas. Os gatilhos são relevantes por indicarem o momento de mudança de projeto de alguma infraestrutura devido a uma maior probabilidade de mudança de condição climática. Por esse motivo, é preciso acompanhar as informações mais recentes de mudanças climáticas e o desempenho das infraestruturas de transporte durante todo o ciclo de vida dessas infraestruturas.

A abordagem possui o benefício de apresentar etapas estruturadas de um processo de elaboração de projetos, que deve, idealmente, ser orientado por diretrizes pré-definidas e prever momentos de tomada de decisão da equipe gestora e de escuta de outras partes interessadas, com atenção à governança do projeto.

No Guia de Certificação de Parcerias Público-Privadas - PPP, o Banco Asiático de Desenvolvimento - ADB *et al.* (2016) consideram que a parte relevante das falhas em projetos de concessão são devidas a práticas inadequadas de governança de projeto. Se adequadas, tais práticas deveriam compreender, entre outros aspectos, um conjunto organizado de rede de tomada de decisão, vinculado a uma estrutura de governança e diretrizes definidas, e uma comunicação compreensível e clara, inclusive com o público em geral.

Com o objetivo de avaliar em que medida o setor de transporte rodoviário nacional incorpora abordagens de incerteza climática no planejamento público, foram avaliados alguns documentos que indicam o futuro esperado para o setor e para as concessões de infraestruturas rodoviárias. A avaliação é apresentada no capítulo a seguir.

5. RESULTADOS DA REVISÃO DOCUMENTAL

5.1. O PNL 2035

O PNL, aprovado pelo Comitê Estratégico de Governança do Ministério da Infraestrutura em 15 de outubro de 2021, é o documento de planejamento federal da malha de transportes, e determina os gargalos logísticos que devem ser tratados até 2035. O documento define como um de seus princípios a “infraestrutura sustentável”, explora os termos “sustentabilidade” ou “sustentável” em três de suas dez diretrizes, e usa um indicador que denomina “sustentabilidade ambiental” para comparação dos cenários produzidos.

No entanto, o documento trata apenas da mitigação aos efeitos da mudança climática, no sentido de busca de redução de emissão de gases de efeito estufa pelo setor, sem a preocupação pela adaptação da infraestrutura aos efeitos da mudança climática. Como evidência do fato, o indicador de “sustentabilidade ambiental” mede o volume de gases de efeito estufa emitido em cada um dos cenários.

Sobre o tema, importa comentar que o Brasil se comprometeu com a redução das emissões de gás carbônico equivalente em 43% até 2030 frente às emissões de 2005 (Brasil, 2020c). De acordo com a categorização realizada pelo Governo Brasileiro no Inventário Nacional de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa do Brasil, o setor de transportes é a segunda subcategoria setorial que isoladamente mais contribui com as emissões de gases de efeito estufa do Brasil: 14,1% das emissões advêm da atividade, não muito atrás da principal emissora, que é a fermentação entérica de bovinos, responsável por 18,7% das emissões (BRASIL, 2016). Apesar disso, o PNL 2035 prevê, em seu melhor cenário de emissões (de um total de nove cenários), um aumento de 10,4% das emissões pelo setor de gás carbônico equivalente em 2035, em comparação com as emissões de 2017 (BRASIL, 2021c).

Em que pese a relevância de se tratar da redução de gases de efeito estufa pelo setor, uma abordagem que avalie apenas o tema de mitigação às mudanças climáticas, deixando de lado a adaptação da infraestrutura, é incompleta, pois carece de reconhecer os impactos das mudanças climáticas nas infraestruturas correlatas. O PNL 2035 demonstra a marginalização que o tema ainda possui no ambiente de planejamento nacional do setor de transportes e logística.

5.2. Documentos Editalícios

A revisão documental dos contratos de concessão demonstrou que os documentos não tratam especificamente de incertezas climáticas. As principais incertezas correlatas tratadas nas matrizes de risco dos contratos são as relacionadas ao custo dos investimentos, cujos riscos de frustração são alocados ao concessionário em todos os projetos, com exceção de BR 116/493/465, PA-150, Rodoanel Norte SP, e Rodovias Integradas do Paraná – Lote 1, em que há um mecanismo de compartilhamento de riscos de preços de insumos. No entanto, esse tipo de risco tampouco importa em aumento de custos relacionados à necessidade de refazimento de obras e/ou reforços de infraestruturas.

Há uma pequena diferença em relação à responsabilidade pela obtenção das licenças ambientais dentre os projetos: todos alocam a responsabilidade ao concessionário, mas os projetos federais rodoviários imputam ao poder concedente o risco de investimentos e custos relacionados ao atendimento de condicionantes referentes a terras indígenas, comunidades quilombolas e sítios arqueológicos, necessárias à obtenção de licenças. Ainda que se trate de itens ambientais, não dizem respeito a fatores climáticos.

Da forma como as alocações de risco são feitas, hoje, nos contratos, os eventos extremos ocasionados pelas mudanças climáticas seriam possivelmente alocados como “fatores imprevisíveis, fatores previsíveis de consequências incalculáveis, caso fortuito ou força maior”, que, de forma geral, em todos os contratos, são alocados: i. ao concessionário, se for segurável há pelo menos 1 ou 2 anos no mercado nacional; ou ii. ao poder concedente, se não segurável. Ou seja, a discussão passaria a ser sobre a possibilidade de obtenção de seguro para o evento ou não. Ainda que houvesse um mercado de seguros para proteção contra os eventos extremos ocasionados por mudanças climáticas, destaca-se que esse é um formato de alocação de riscos de casos fortuitos ou força maior tradicional, e não foi incluído como uma inovação devido ao reconhecimento da existência de mudanças climáticas.

Caso a mudança climática venha a ocorrer no sentido de variação da demanda, por exemplo pela mudança do ciclo de colheitas, o concessionário que arcaria com os custos em quase todos os casos, exceto para as rodovias que possuem algum mecanismo de compartilhamento de risco de demanda, como é o caso do Rodoanel Norte SP e do Lote 1 das Rodovias Paranaenses.

A seguir são destacados projetos que apresentam algum avanço contratual ou nos estudos de viabilidade técnica, em relação ao tema de mudanças climáticas, frente aos demais.

5.1.1. BR-153/080/414

No sítio do projeto da rodovia Aliança (TO) - Anápolis está disponível uma apresentação dos estudos de viabilidade técnica do Produto 2 – Tomo II: Estudos Ambientais usados na concessão da BR-153/080/414-TO/GO (BRASIL, 2020a). Nela, há o resultado de levantamento sobre o marco legal aplicável a este projeto. No tema específico de “Mudanças Climáticas”, o documento observa a existência de: i. Decreto nº 5445/05, que promulga o Protocolo de Quito à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima; e ii. Lei nº 12.187/09, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC). Esta última oficializa o compromisso voluntário de redução de emissões de gases de efeito estufa do Brasil junto à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Ainda, o documento destaca que os Estados de Goiás e Tocantins apresentam Leis específicas sobre Mudanças Climáticas. No entanto, ambas também têm como foco a redução de emissões de gases de efeito estufa (GOIÁS, 2009 e TOCANTINS, 2008).

5.1.2. PA-150

O Contrato de Concessão da PA-150 apresenta como um de seus anexos um documento intitulado “Diretrizes de Sustentabilidade”, que deve ser cumprido pela concessionária (PARÁ, 2023). Nele, está listado como obrigação da concessionária o processo de identificação de riscos e impactos, que deverá se balizar num processo de identificação que deverá considerar não só as emissões de gases de efeito estufa, como também os riscos relevantes associados às mudanças climáticas e à poluição do ar, incluindo os impactos indiretos do projeto sobre a biodiversidade ou sobre serviços de ecossistemas dos quais as comunidades afetadas dependem para sobrevivência.

O referido anexo determina que “a Concessionária deverá implementar uma gestão de emissões com foco na ampliação da capacidade humana e institucional para a mitigação, adaptação e redução dos impactos das mudanças climáticas.”

Com o cumprimento dessas obrigações, a concessionária poderia atuar em prol do desenvolvimento de uma infraestrutura mais resiliente, mas, ainda assim, sem a determinação de um método para tal. E precisaria requerer ao poder concedente

autorização para realização de intervenções não previstas originalmente no programa de exploração rodoviária, se almejasse o respectivo reequilíbrio econômico-financeiro do contrato advindo das novas bases de intervenções (ou seja, repasse de seu custo de investimento para o usuário, dentre outras formas de rearranjo de equilíbrio econômico-financeiro do contrato existentes).

5.1.3. BR 116/493/465, BR-116/101, Lote 1 de Rodovias Paranaenses, Noroeste Paulista e Rodoanel Norte SP

Brasil (2023a, 2022 e 2023c) e São Paulo (2022a e 2022b) instituem, para a BR 116/493/465, a BR-116/101 e o Lote 1 de Rodovias Paranaenses, o “Programa Carbono Zero”, e, para Noroeste Paulista e Rodoanel Norte SP, o “Programa Carbono Neutro”, que tem como objetivo a neutralização das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) pelas concessionárias, a serem calculadas em carbono equivalente proveniente de suas atividades de operação. O Programa é composto pelas fases de Inventário, Compensação e de Certificação. Apesar de apresentar um avanço em termos climáticos, tal obrigação diz respeito, novamente, apenas a medidas de mitigação a mudanças climáticas, e não a de adaptação.

5.1.4. Rodovias MG Triângulo Mineiro e Rodovias MG Varginha-Furnas

Minas Gerais (2022) e Minas Gerais (2023c) incluem, como obrigação das concessionárias, a elaboração de inventário anual de gases e efeito estufa, e a definição de metas voluntárias de redução de emissões de GEE. Ainda, seus contratos prevêm a obrigação de apresentação, pela concessionária, durante o primeiro ano da concessão, de Análise de Risco de Desastres Naturais e Mudanças Climáticas (também sem determinação de um método para tal), e a criação, até o final do segundo ano da concessão, do Comitê de Gestão e Reporte dos Riscos ao Conselho de Administração.

5.3. Conclusões da Revisão Documental

Ainda que alguns dos contratos mais recentes de concessões rodoviárias já tenham a preocupação com a mitigação aos efeitos das mudanças climáticas, ao buscar a redução de emissões de gases de efeito estufa, nota-se que o avanço em direção à adaptação ainda é incipiente, assim como foi observado na literatura apresentada neste trabalho. Dentre os projetos avaliados, destacam-se: i. a PA-150, que impõe à concessionária a implementação de gestão de emissões que vise, entre outros, a adaptação; e ii. Rodovias

MG Triângulo Mineiro e Rodovias MG Varginha-Furnas, que impõem à concessionária a elaboração de uma análise de riscos de mudanças climáticas. Porém em nenhum dos projetos foi identificada a realização de avaliação sobre a resiliência das infraestruturas aos efeitos das mudanças climáticas, ou de alocação de riscos inovadora que envolva as incertezas relativas às mudanças climáticas.

Os avanços destacados relacionados a mudanças climáticas encontrados nos documentos revisados podem ser observados no Quadro 1.

Quadro 1: Destaques relacionados a mudanças climáticas

Fonte: Elaboração própria

Projeto	Destaques
MS-112/BR-158/BR-436; e Rodovias RS Bloco 3	Sem avanços
BR-153/080/414; Rodovias Integradas do Paraná – Lote 1; BR-116/101 (Dutra); BR 116/493/465; Noroeste Paulista; Rodoanel Norte SP; e Plano Nacional de Logística 2035 – PNL	Preocupação com Mitigação
PA-150; Rodovias MG Triângulo Mineiro; e Rodovias MG Varginha-Furnas	Preocupação com Mitigação e Adaptação (sem método definido)

6. PROPOSTA DE ABORDAGEM

Com vistas à incorporação da incerteza climática nos documentos editalícios das concessões de infraestruturas rodoviárias, é proposto um procedimento metodológico que tem como premissas: i. incorporação de análise da vulnerabilidade da infraestrutura na elaboração dos estudos que embasam o edital, contrato e anexos da licitação de projetos de concessão de rodovias; ii. interação entre a equipe técnica e a equipe que tomará as decisões na esfera governamental; e iii. a elaboração de um plano de adaptação.

Por ser uma atividade complexa, buscou-se, na proposta, apresentar uma solução o mais simples e objetiva possível, que busca quantificar a incerteza climática e evitar, ao mesmo tempo, que a equipe tomadora de decisão se veja diante de uma quantidade muito grande de informações, de forma a evitar a sobrecarga cognitiva ocasionada pela diversidade de critérios, incertezas e cenários envolvidos. Para tal, a proposta considerou uma mistura das ações encontradas entre os tratamentos listados no Capítulo 4.

6.1 Análise de vulnerabilidade da infraestrutura

De forma a garantir uma abordagem que incorpore as incertezas climáticas na elaboração dos estudos que embasam o edital, contrato e anexos da licitação de projetos de concessão de rodovias, partiu-se de um arcabouço de premissas, quais sejam:

- i. a natureza de incerteza profunda característica das incertezas climáticas, o que requer uma política Adaptativa e Dinâmica;
- ii. que a concessão terá duração mínima de 30 anos;
- iii. a maior vulnerabilidade de grupos de pessoas de menor fonte de renda, que muitas vezes vivem nas margens da rodovia;
- iv. que as diferentes estruturas do sistema rodoviário possuem diferentes ciclos de vida;
- v. que o projeto deve, ao máximo, buscar a eficiência do uso dos recursos públicos e privados, bem como a atração de financiadores;
- vi. que a ocorrência de catástrofes não é aceita;
- vii. que a equipe tomadora de decisão, bem como a população em geral consultada durante as fases públicas da elaboração dos estudos, não possui necessariamente capacitação relativa a mudanças climáticas ou avaliações de risco em ambiente de incerteza, portanto a metodologia proposta deve ser simples de forma a evitar ao máximo sua sobrecarga cognitiva.

A fonte de embasamento para as premissas, já apresentadas ao longo desta dissertação, está listada no Quadro 2.

Quadro 2: Premissas e fonte de embasamento
Fonte: Elaboração própria

Premissa	Fonte de embasamento
Natureza de incerteza profunda das incertezas climáticas, o que requer uma política Adaptativa e Dinâmica	Slovic <i>et al.</i> , 1981; Lyons e Davidson, 2016; Lyons E Marsden, 2019; Marchau <i>et al.</i> , 2013; Hallegate <i>et al.</i> , 2012; Marsden e Mcdonald, 2019; Wang <i>et al.</i> , 2020; Dittrich <i>et al.</i> , 2016.
Concessão com duração mínima de 30 anos	Brasil, 2021c; São Paulo, 2019; Brasil, 2020b; Brasil, 2022; Rio Grande do Sul, 2022; Brasil, 2023b; Mato Grosso do Sul, 2022; Pará, 2023; São Paulo, 2022; e Brasil, 2023c
Maior vulnerabilidade de grupos de pessoas de menor fonte de renda, que muitas vezes vivem nas margens da rodovia	Levy e Patz, 2015
Diferentes estruturas do sistema rodoviário possuem diferentes ciclos de vida	Meyer e Weigel, 2011; Dittrich <i>et al.</i> , 2016; Hallegate <i>et al.</i> , 2012.
O projeto deve, ao máximo, buscar a eficiência do uso dos recursos públicos e privados, bem como a atração de financiadores e investidores	The World Bank Group, 2021; Meyer e Weigel, 2011; Picketts <i>et al.</i> , 2015; Koetse e Rietveld, 2012; IFRS Foundation, 2023.
A ocorrência de catástrofes não é aceita	The World Bank Group, 2021; Levy e Patz, 2015
A equipe tomadora de decisão, bem como a população em geral consultada durante as fases públicas da elaboração dos estudos, não possui necessariamente capacitação relativa a mudanças climáticas ou avaliações de risco em ambiente de incerteza, portanto a metodologia proposta deve ser	Lyons e Marsden, 2019; Banco Asiático de Desenvolvimento - ADB <i>et al.</i> , 2016.

simples de forma a evitar ao máximo sua sobrecarga cognitiva	
--------------------------------------------------------------	--

A abordagem proposta compreende um total de 6 (seis) etapas consecutivas, que foram divididas com vistas a facilitar o entendimento e execução. A seguir tais etapas são apresentadas.

6.1.1. Etapa 1 – definição de prioridades de adaptação, em interlocução com equipe tomadora de decisão

Inicialmente, é preciso definir, em conjunto com as partes interessadas do projeto que tomarão as decisões, os eventos cuja ocorrência não é aceita.

Considerando as características de eventos extremos climáticos sem precedentes na história, e, como parte da responsabilidade da gestão pública de zelar pelos direitos fundamentais da população, sugere-se, como ponto basal, que catástrofes não sejam aceitas. Ou seja, a ocorrência de deslizamentos sobre a rodovia, de graves afundamento de solos sob seu leito, ou, ainda, de ações do mar com forças anteriormente inesperadas, entre outros, deve ser incluída nos estudos, para toda a extensão da rodovia. Para esses casos, não é admitida a possibilidade de ação reativa, após a ocorrência do evento, e deve-se considerar a construção de estruturas redundantes ou outras alternativas que impeçam a ocorrência do desastre.

Também se sugere o estudo dos impactos climáticos na população vulnerável no entorno da rodovia, que impactem em seu deslocamento, subsistência e/ou saúde. Também é adequado avaliar possíveis impactos em rotas de evacuação de emergência, se a região contar com algum local sensível.

Parte-se da premissa de que, sendo o Brasil um país de dimensões continentais, que conta com o modo rodoviário como principal modo de transporte da maior parte da população, que, muitas vezes, mora ou trabalha no entorno da rodovia em situação precária, deve-se avaliar o atendimento dos direitos fundamentais dessa população em casos de eventos extremos ocasionados pelas mudanças climáticas. A questão em foco é que não pode ser concebível um empreendimento privado que vise ao desenvolvimento econômico de uma região, como é o caso de prestação de serviços de infraestruturas de transportes, convivendo ao lado de população sob ameaça de violação de direitos fundamentais. Como

saída para essa situação, pode ser adequado avaliar a possibilidade de elaboração de planos de contingência.

Com vistas a não sobrecarregar com custos exacerbados o estudo de viabilidade, o que poderia onerar demasiadamente o preço da licitação com os custos e prazos de estudos, sugere-se que a equipe tomadora de decisão elenque, ainda, outros itens a serem priorizados na análise, de forma a focar a análise realizada nos estudos nesses pontos. Esses itens podem incluir: i. intervenções com ciclo de vida superior a 20 anos, quando os impactos das mudanças climáticas serão percebidos, e com alto custo de instalação ou para atualização; ii. trechos relevantes para escoamento da produção ou ligação a outros modos de transporte; iii. trechos relevantes para chegada a hospitais e outros centros de serviços públicos; iv. trechos com alto volume de tráfego, ou sem rotas alternativas, cujas interrupções de tráfego são relevantes para o fluxo de todo o sistema.

6.1.2. Etapa 2 - elaboração de cenários

De forma a proceder com a incorporação das incertezas climáticas nos estudos de viabilidade, o próximo passo é selecionar os cenários climáticos a serem avaliados. A infraestrutura objeto do estudo deverá ser avaliada segundo diferentes cenários de emissão de centros de referência de pesquisa climática, revisados pelo IPCC. O procedimento metodológico ora proposto considera uma solução qualitativa, que é a adequada para nível iv de incerteza (MARCHAU *et al.*, 2013), de mais simples entendimento pelo público em geral, e que permite uma tomada de decisão consciente mesmo por quem não tem o conhecimento técnico no assunto. Por esse motivo, propõe-se que não sejam usados muitos cenários climáticos nessa etapa, tornando a proposta adequada, ainda, ao preconizado pelo Banco Mundial (THE WORLD BANK GROUP, 2021).

Como cenário otimista, deve ser utilizado o SSP1-1.9; como pessimista, o SSP5-8.5; e, como intermediário, o SSP2-4.5. Sugere-se, ainda, que sejam avaliados ao menos dois modelos climáticos para cada cenário de emissão, o que resultará na avaliação do projeto sob o prisma de ao menos seis modelos climáticos.

Devem ser avaliados os modelos climáticos em escala local (sob a técnica de *downscaling*), para os itens considerados prioritários na Etapa 1. Ainda que não sugerido pela equipe tomadora de decisão na Etapa 1, é adequado realizar a avaliação das

mudanças climáticas locais sobre o pavimento, por ser essa parte vital da rodovia para a fluidez do tráfego, economia de manutenção de veículos, e parte relevante dos custos de obras. O conhecimento dos cenários futuros permitirá a elaboração de um plano de adaptação mais completo para essa estrutura, ainda que a decisão sobre a mudança de seu projeto possa ser postergada para um momento posterior, devido ao fato de seu ciclo de vida ser mais curto que o prazo em que possivelmente serão observados os impactos das mudanças climáticas.

Para todos os três tipos de impactos que se desejam evitar, a saber: i. eventos inconcebíveis (catástrofes e impactos climáticos na população vulnerável, por exemplo); ii. outros eventos priorizados pela equipe tomadora de decisão; e iii. pavimentos, deve ser apontado o momento em que é dada a mudança de rota de projeto ocasionada pela mudança climática.

Esse momento deve ser determinado com base em indicadores climáticos, como índices pluviométricos ou dias com temperaturas superiores a um determinado valor, e não apenas com base num ano mais provável de ocorrência. Essa informação é importante para a definição dos “gatilhos de intervenção”.

Os estudos também devem indicar, para os tipos de impacto enumerados como “ii” e “iii” os custos relacionados a sua solução proativa, ou seja, antes de materializados os eventos adversos, em cada um dos cenários, bem como o custo para sua solução posteriormente à concretização do evento adverso. Por serem inconcebíveis, os tipos de impacto enumerados como “i” não requerem a avaliação do custo de solução posteriormente à concretização do evento adverso, pois devem ser sempre tratados de forma proativa.

6.1.3. Etapa 3 - definição dos “gatilhos climáticos”

Como comentado no Capítulo 4, os planos de políticas Adaptativas e Dinâmicas devem incluir um método para acompanhamento, ou seja, para monitoramento e avaliação de indicadores-chave, para apontar a possível mudança de rota. Chamam-se “gatilhos de investimentos” ou simplesmente “gatilhos” os níveis de indicadores-chave que acionam uma mudança de rota e, a partir do momento de seu atingimento, obrigam a tomada de alguma atitude.

O uso de “gatilhos” em contratos de concessão rodoviária já é prática usual, mas é usada no contexto de gatilhos para obras de ampliação de capacidade. Para isso, são comumente

utilizados indicadores de nível de serviço da rodovia. Quando ultrapassado um nível de serviço para um pior, é acionado o “gatilho” e a concessionária pode vir a ser solicitada a realizar obras de ampliação de capacidade para atender ao novo volume da rodovia naquele trecho, mediante reequilíbrio econômico-financeiro do contrato. Esse é o caso dos contratos apresentados no Capítulo 5, por exemplo.

A aplicação de gatilhos para a metodologia ora proposta é semelhante: quando atingido o valor do indicador relevante, apontado no estudo, deve ser acionado o “gatilho climático”, a partir do qual a concessionária poderia vir a ser instada a realizar a obra para solucionar aquela questão específica. O estudo deverá, também, apontar soluções alternativas, seus custos referenciais e momento máximo em que devem ser implementadas, de modo que se evitem os três tipos de impactos que se desejam evitar. Ou seja, o “gatilho climático” pode acionar a execução de obras de atualização das instalações existentes ou a execução de novas intervenções, alternativas às existentes.

O uso de gatilhos é benéfico em contratos de licitação porque eles não oneram em demasia a tarifa cobrada do usuário ou a contraprestação do parceiro público, pois apenas são acionados se concretizado o cenário de incerteza considerado; e eles dão transparência aos participantes da licitação sobre a incerteza considerada. O contrato pode alocar 100% desse risco ao poder concedente, caso em que o concessionário faz jus à integralidade de reequilíbrio econômico-financeiro pelos custos da obra. Outros formatos de alocação de risco podem ser utilizados, até o limite de alocação de 100% do risco ao parceiro privado, passando por todas as possibilidades de alocações intermediárias, a depender do que for indicado como melhor opção após finalizados os estudos e a escolha feita pela equipe tomadora de decisão.

Ainda, se relacionado a uma obra pública (se assim determinar a decisão do poder concedente), o “gatilho climático” indicará o momento em que o poder concedente deverá realizar as intervenções propostas.

6.1.4. Etapa 4 - escolha da estratégia de adaptação e de alocação de risco, em interlocução com equipe tomadora de decisão

A fim de evitar a sobrecarga de informações sobre as diversas partes interessadas no projeto, incluindo a população em geral, instada a se pronunciar nos processos de audiência e consulta públicas dos processos licitatórios nacionais, conforme arcabouço legislativo vigente, o uso de técnicas muitas vezes não compreensíveis para a população

em geral foi afastado. Sugere-se, portanto, como já informado anteriormente, uma avaliação qualitativa dos cenários, que pode ser rastreada de forma simplificada pelo público em geral, e avaliada também de forma mais simples pela equipe tomadora de decisão. Além disso, a avaliação qualitativa é a mais adequada para níveis de incerteza mais altos.

Os cenários devem ser apresentados à equipe tomadora de decisão contendo as seguintes informações:

- i. Eventos inconcebíveis: devem ser apresentados os impactos de eventos inconcebíveis e os custos associados à sua prevenção ou à implementação de soluções alternativas em cada um dos cenários, com a variação do valor presente líquido e da tarifa do modelo de equilíbrio para esse novo custo;
- ii. Outros eventos priorizados pela equipe tomadora de decisão: devem ser apresentados os impactos e os custos associados à sua prevenção e à sua solução após a materialização do evento em cada um dos cenários, com a variação do valor presente líquido e da tarifa do modelo de equilíbrio para esses novos custos;
- iii. Pavimentos: devem ser apresentados os impactos e os custos associados à sua prevenção e à sua solução após a materialização do evento em cada um dos cenários, para conhecimento da equipe tomadora de decisão. Porém, por terem ciclo de vida de mais curto e, portanto, poderem ser alvo de mudanças de tecnologia conforme se tome maior conhecimento dos efeitos das mudanças climáticas (segundo a abordagem de redução de horizontes de tempo de tomada de decisão), a solução dada a essa estrutura é diferente da solução dada às demais, como se verá na próxima Etapa, não requerendo escolha da equipe tomadora de decisão nesse momento.

A equipe tomadora de decisão deverá proceder à escolha das soluções para os tipos de eventos “i” e “ii” acima, que envolverá:

- i. Aprovação dos gatilhos para cada acionamento de intervenção; escolha de solução alternativa que evite o impacto; não tratar o evento no contrato de concessão; ou outra forma de tratamento; e
- ii. Definição da alocação de risco dos custos de cada intervenção eventualmente acionada.

As alterações poderão ser incluídas na modelagem de algumas maneiras:

- i. como investimentos previstos no EVTEA e considerados como obrigatórios no PER;
- ii. como investimentos considerados como pré-autorizados no contrato de concessão, que sejam obrigatórios a partir do atingimento de certos gatilhos;
- iii. como itens da matriz de risco.

6.1.5. Etapa 5 – elaboração do Plano de Adaptação às Mudanças Climáticas

Com base nas escolhas feitas na Etapa 4, e das informações sobre pavimentos, deverá ser elaborado o Plano de Adaptação às Mudanças Climáticas, que consolidará:

- i. Os eventos avaliados, o impacto previsto, sua previsão de ocorrência, a intervenção proposta pelo estudo, e a forma escolhida de tratamento (se por gatilho, execução de intervenção alternativa, ou outra). No caso de uso de gatilhos, deverão ser consolidados os indicadores por tipo e local de ocorrência, e o responsável por seu acompanhamento (se o poder concedente ou o parceiro privado).
- ii. Para pavimentos, um plano de adaptação com indicadores a serem medidos pela concessionária, que deverão ser suficientes para indicar o momento em que a solução de pavimento deverá ser alterada, de modo a atender aos impactos considerados das mudanças climáticas.

6.1.6. Etapa 6 – Monitoramento e Avaliação

A última etapa da abordagem é a de monitoramento e avaliação do Plano de Adaptação às Mudanças Climáticas, a ser executada a partir da contratação do projeto, ou, na hipótese de não assinatura do contrato de concessão, a ser executada pelo poder concedente nos itens que lhe interessarem. A abordagem proposta está resumida no Quadro 3.

Quadro 3: Resumo da Abordagem Proposta

Fonte: Elaboração própria

Tipos de Impacto	Eventos não aceitos	Outros Eventos	Pavimentos
Etapa 1: Definição de Prioridades (com tomadores de decisão)	- Catástrofes - Impacto em subsistência, deslocamento e saúde de população vulnerável - Rotas de evacuação de emergência EVENTOS SEM AÇÃO REATIVA	- Ciclo de vida maior que 20 anos - Escoamento da produção ou ligação a outros modos - Chegada a hospitais e outros - Interrupções de tráfego impactam o sistema	Não se aplica

Etapa 2: Elaboração de Cenários	<ul style="list-style-type: none"> - Seleção de 3 cenários climáticos de 2 centros, resultando em 6 modelos - <i>Downscaling</i> - Definição de momento de mudança de rota 	<ul style="list-style-type: none"> - Seleção de 3 cenários de 2 centros, resultando em 6 modelos - <i>Downscaling</i> - Definição de momento de mudança de rota - Definição de custos da solução proativa x reativa 	
Etapa 3: Definição de gatilhos	O estudo deverá apontar soluções alternativas, com seus custos referenciais e momento máximo em que devem ser implementadas		
Etapa 4: Elaboração da estratégia de adaptação e de alocação de risco (com tomadores de decisão)	<ul style="list-style-type: none"> - VPL e tarifa para prevenção ou soluções alternativas, em cada cenário - Aprovação dos gatilhos; solução alternativa; e alocação de risco 	<ul style="list-style-type: none"> - VPL e tarifa para solução proativa e reativa, em cada cenário - Aprovação dos gatilhos; solução alternativa; não tratamento; ou outra solução; e alocação de risco 	VPL e tarifa para solução proativa e reativa, em cada cenário
Etapa 5: Elaboração do Plano de Adaptação às Mudanças Climáticas	Consolidará: <ul style="list-style-type: none"> - Eventos avaliados, impacto previsto, previsão de ocorrência, tratamento (gatilho, execução de intervenção alternativa, etc); e - Responsável pelo acompanhamento da variável que leva ao gatilho 		Conterá indicadores a serem medidos pela concessionária, que deverão ser suficientes para indicar o momento de alteração da solução de pavimento
Etapa 6: Monitoramento e Avaliação do Plano	Executado a partir da contratação da concessão, ou, na hipótese de não assinatura do contrato de concessão, pelo poder concedente.		

6.2 Benefícios do procedimento proposto

Em relação às formas de inclusão dos investimentos no EVTEA, considera-se que a solução robusta pode comprometer a economicidade da tarifa e/ou a atratividade do leilão. Para o fim proposto, de EVTEA para a elaboração de documentos para licitação de concessão rodoviária, sugere-se que a incerteza climática seja tratada mediante o modelo de tomada de decisão flexível e adaptável, adaptado ao caso em estudo.

Os investimentos relevantes para que se evite a materialização dos riscos climáticos que se decidiu não aceitar deverão ter seus custos calculados, e incluídos nos investimentos obrigatórios a partir de gatilhos ou desde o início da concessão, a depender do que os estudos apontarem como mais eficiente. Quando atendidos os níveis de variáveis, em que a curva do cenário climático esteja se mostrando próxima do real, o gatilho deverá ser considerado como atingido.

Ainda, o procedimento proposto lança luz não só aos impactos da mudança climática em geral na infraestrutura, como também prioriza reduzir seus impactos sobre a população mais vulnerável, que menos contribui com seus efeitos. Como declarado por Levy e Patz (2015), as medidas de adaptação e mitigação a mudanças climáticas devem proteger os direitos humanos, promover justiça social, e evitar a criação de novos problemas ou exacerbar os existentes para a população vulnerável.

6.3 Restrições à implantação do procedimento proposto

Para implantação do procedimento proposto, é necessário contar com uma equipe de desenvolvimento de estudo de viabilidade técnica especializada em dados climáticos, o que precisa ser planejado desde o início da contratação dos consultores técnicos especializados, que ocorre por volta de 2 (dois) anos antes da realização do leilão da infraestrutura. Ou seja, se a abordagem começar a ser utilizada hoje, é possível que apenas os leilões de 2026 tenham essa preocupação incorporada.

Ainda, a inclusão de tal especialização é uma novidade para os gestores públicos, que talvez precisem ser convencidos da necessidade dessa contratação, pois impactará em custos maiores de estudos.

Além disso, a proposta requer a participação ativa dos tomadores de decisão em mais momentos que os já usuais nos estudos de viabilidade técnica, o que pode resultar em atraso na realização do estudo.

Tais desafios seriam inexistentes ou de mais fácil transposição, no entanto, se já houvesse políticas de adaptação a mudanças climáticas disponíveis que orientassem a prática de avaliação de resiliência climática de projetos.

Ademais, é possível que um estudo de viabilidade técnica que incorpore a preocupação com uma infraestrutura resiliente resulte em custos de investimentos mais caros que o que não tenha essa preocupação (ainda que o que não tenha essa preocupação possa incorrer em maior risco de catástrofes e custos futuros de ajustes de infraestrutura). Maiores custos com investimentos podem afugentar parceiros privados interessados em participar da concorrência, o que pode sensibilizar os gestores públicos a reduzir a resiliência do projeto e, com isso, os custos de investimentos no curto prazo.

7. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

A revisão de literatura aponta para a relevância e atualidade do tema de mudanças climáticas na seara de incertezas relacionadas às infraestruturas de transportes, mas a orientação é de maior parte da pesquisa ainda voltada a medidas de mitigação, e não adaptação.

Em relação aos documentos mais recentes utilizados nas concessões rodoviárias federais e estaduais e no PNL, ainda que alguns dos contratos mais recentes de concessões rodoviárias já tenham a preocupação com a mitigação aos efeitos das mudanças no clima, ao buscar a redução de emissões de gases de efeito estufa, nota-se que o avanço em direção à adaptação ainda é incipiente, assim como foi observado na literatura. Dentre os projetos avaliados, destacam-se a PA-150, Rodovias MG Triângulo Mineiro e Rodovias MG Varginha-Furnas, que impõem à concessionária a implementação de gestão de emissões que vise, entre outros, a adaptação, uma Análise de Risco de Desastres Naturais e Mudanças Climáticas e a criação de um Comitê de Gestão e Reporte dos Riscos. Porém em nenhum dos projetos foi identificada a realização de avaliação sobre a resiliência das infraestruturas aos efeitos das mudanças climáticas.

Com a consciência de que a mudança climática é inequívoca, os gestores públicos não podem mais se furtar a incluir medidas de adaptação no planejamento, quer seja federal, estadual ou municipal. No setor de transportes, especificamente, infraestruturas que não sejam resilientes podem gerar desde infortúnios devido a atrasos em viagens até eventos catastróficos. Sendo a população mais vulnerável a que sofrerá com maior força os impactos das mudanças climáticas, há uma responsabilidade redobrada sobre os gestores das infraestruturas de transportes, que devem agir o quanto antes para adequar as infraestruturas sob sua gestão.

A abordagem proposta leva à incorporação da avaliação da resiliência da infraestrutura rodoviária nos estudos de viabilidade dos projetos de concessão, o que resultará em cláusulas contratuais ou outras obrigações a serem acompanhadas pelo poder concedente. Para tal, é preciso incluir os estudos de mudanças climáticas desde os primeiros estágios dos estudos de viabilidade, pois eles irão requerer tempo para execução e, possivelmente,

mudanças no planejamento do investimento em infraestrutura e dos gastos em operação, dados de grande relevância para a decisão sobre o preço do leilão.

Como, no curto prazo, o investimento na infraestrutura resiliente pode ser mais caro que o investimento na infraestrutura projetada a partir de um único plano considerado “ótimo”, que desconsidera essas incertezas, caberá aos gestores públicos a priorização das ações que considerarem mais relevantes e que resguardem a fluidez do tráfego e a vida das pessoas. Para tal, será necessário sopesar tais benefícios em detrimento dos custos maiores no curto prazo, e comparar tais custos com os custos de reação posteriores às mudanças climáticas, nos casos em que seja possível aguardar seus efeitos.

A abordagem proposta adequa, ainda, os projetos para a obtenção de melhores classificações de risco climático de organismos financiadores, como é o caso do Banco Mundial, e permite que o parceiro privado responsável pela infraestrutura após o leilão esteja em posição destacada ao emitir o relatório do IFRS S2, o que poderá atrair mais investidores.

Além dos benefícios anteriormente listados, a proposta prioriza o atendimento dos direitos fundamentais da população mais vulnerável do entorno da rodovia, e também mais propensa a sofrer com os impactos climáticos, favorecendo a atuação esperada do gestor público.

Apesar de o presente trabalho apresentar um passo na tentativa de orientar a elaboração de projetos de concessões rodoviárias no sentido da resiliência climática, tanto a revisão de literatura quanto a revisão documental apontam para a necessidade de elaboração de políticas nacionais e estaduais de medidas de adaptação a mudanças climáticas, que, uma vez elaboradas, apresentariam explicitamente o direcionamento que os tomadores de decisão da gestão pública gostariam de dar ao tema. Com isso, o entendimento sobre a priorização do assunto seria uniforme a toda a população, e os planejadores não precisariam atuar conforme seu próprio discernimento projeto-a-projeto, pois haveria uma padronização de conceitos a serem seguidos. Ou seja, idealmente, deveriam ser elaboradas políticas públicas setoriais que orientassem a elaboração de projetos resilientes às mudanças climáticas, desde obras públicas de manutenção até investimentos em

concessões de infraestrutura de longo prazo. No entanto, no Brasil ainda se observa uma lacuna na elaboração de tais políticas.

Apesar de não abordado pelo presente trabalho, o desenvolvimento de novas alternativas no mercado de seguros também pode apresentar uma saída interessante para o tratamento de incertezas climáticas em contratos de concessão rodoviárias nacionais. Além disso, para futuros trabalhos, a revisão documental do estado da prática em concessões rodoviárias estrangeiras também é recomendada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

B3. **Licitações – Em Andamento e Anteriores**. São Paulo, SP: 2023. Disponível em: https://www.b3.com.br/pt_br/produtos-e-servicos/negociacao/leiloes/licitacoes-publicas/licitacoes/em-andamento-e-anteriores/. Acesso em: 10 set.2023.

BANCO ASIÁTICO DE DESENVOLVIMENTO - ADB; BANCO EUROPEU DE RECONSTRUÇÃO E DESENVOLVIMENTO – EBRD; BANCO INTERAMERICANO DE DESENVOLVIMENTO – IDB; BANCO ISLÂMICO DE DESENVOLVIMENTO – ISDB; FUNDO MULTILATERAL DE INVESTIMENTOS – MIF; GRUPO DO BANCO MUNDIAL – WBG; MECANISMO DE APOIO ÀS INFRAESTRUTURAS PÚBLICO-PRIVADAS - PPIAF. **Certified PPP Professional (CP3P) Guide**: Versão em Português (Nível Foundation). V1.1. 2016. Disponível em: <https://ppp-certification.com/sites/www.ppp-certification.com/files/documents/Cap%C3%ADtulo%201%20-%20Parceria%20P%C3%ABlico-Privada%20-%20Introdu%C3%A7%C3%A3o%20e%20Perspectiva%20Geral%20-%20Aug%202019.pdf> . Acesso em: 07 nov.2023.

BAYNHAM, Maggie; STEVENS, Mark. Are we planning effectively for climate change? An evaluation of official community plans in British Columbia. **Journal of Environmental Planning and Management**, v.57, n.4, p.557–587, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/09640568.2012.756805> .

BENISTON, Martin; STEPHENSON, David B., CHRISTENSEN, Ole B. *et al.* Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections. **Climatic Change**. v.81, p.71–95, Suppl 1, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9226-z> .

BNDES. **Anexo I à RFP nº 06/2023 – AEP/BNDES**. Termo de Referência do Processo de Contratação de Consultores para a Estruturação de Concessões de Rodovias Estaduais no estado do Rio Grande do Sul. Rio de Janeiro, RJ: 2023. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/transparencia/desestatizacao/projetos-em-andamento/estruturacao-de-concessoes-de-rodovias-estaduais-no-estado-do-rio-grande-do-sul-rfp-06-2023>. Acesso em: 16 mar.2024.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. SIRENE – Sistema de Registro Nacional de Emissões. **Inventário Nacional de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa do Brasil**. Brasília, DF: 2016. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/arquivos/inventario_nacional_resultados_2016.pdf. Acesso em: 10 jul. 2023.

BRASIL, Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT **Apresentação dos estudos de viabilidade técnica para concessão da BR-153/414/080 Tocantins – Goiás: Produto 2 - Tomo II: Estudos Ambientais**. Brasília, DF: 2020a. Disponível em: <https://portal.antt.gov.br/documents/359170/0/Estudos%20Ambientais.pdf/c3ba3f98-0c8c-6209-f712-f6dcd5d5fcf6>. Acesso em: 10 jul.2023.

BRASIL. Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT. **BR-153-414-080**. Brasília, DF: 2020b. Disponível em: <https://antt-hml.antt.gov.br/br-153-414-080>. Acesso em: 09 jul.2023.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações – MCTI. Secretaria de Pesquisa e Formação Científica - SPEF. **Quarta Comunicação Nacional do Brasil à UNFCCC**. Brasília, DF: 2020c. Disponível em: <https://repositorio.mcti.gov.br/handle/mctic/4782>. Acesso em: 10 jul.2023.

BRASIL. **Lei nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995**. Dispõe sobre o regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos previsto no art. 175 da Constituição Federal, e dá outras providências. Brasília, DF: 2021a. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8987cons.htm. Acesso em: 18 mar.2024.

BRASIL. **Lei nº 11.079, de 30 de dezembro de 2004**. Institui normas gerais para licitação e contratação de parceria público-privada no âmbito da administração pública. Brasília, DF: 2021b. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/l11079.htm. Acesso em: 18 mar.2024.

BRASIL. Ministério da Infraestrutura. Empresa de Planejamento e Logística. **PNL 2035: Plano Nacional de Logística**. Brasília, DF: 2021c. Disponível em: https://ontl.epl.gov.br/wp-content/uploads/2021/10/PNL_2035_29-10-21.pdf. Acesso em: 10 jul.2023.

BRASIL. Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT. **Status BR-116/101/SP/RJ**. Brasília, DF: 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/rodovias/concessionarias/lista-de-concessoes/br-116-101-sp-rj>. Acesso em: 09 jul. 2023.

BRASIL. Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT. **Contrato de Concessão Edital nº 01/2022**. Brasília, DF: 2023a. Disponível em: https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/rodovias/concessionarias/lista-de-concessoes/ecoriominas/documentos-de-gestao/contrato-e-aditivos/contrato_br_116-465-493_rj-mg__assinado.pdf. Acesso em: 09 jul.2023.

BRASIL. Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT. **Informações BR-116/465/493/RJ/MG**. Brasília, DF: 2023b. Disponível em: https://portal.antt.gov.br/resultado/-/asset_publisher/m2By5inRuGGs/content/id/2430831. Acesso em: 09 jul.2023.

BRASIL. Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT. **Informações Rodovias Integradas do Paraná**. Brasília, DF: 2023c. Disponível em: https://portal.antt.gov.br/resultado/-/asset_publisher/m2By5inRuGGs/content/id/2430983. Acesso em: 09 jul.2023.

CHEN, D.; ROJAS, M.; SAMSET, B.H. *et al.* Framing, Context, and Methods. *In*: MASSON-DELMOTTE, V.; ZHAI, P.; PIRANI, A., *et al.*. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press. 2021. Cap.1.

DITTRICH, Ruth; WREFORD, Anita; MORAN, Dominic. A survey of decision-making approaches for climate change adaptation: Are robust methods the way forward?

Ecological Economics. v. 122, p.79–89, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.12.006>

DOBINSKI, Wojciech. Permafrost. **Earth-Science Reviews.** v. 108, p.158-169, issues 3-4, 2011. DOI: [10.1016/j.earscirev.2011.06.007](https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2011.06.007)

ESPINET, Xavier; SCHWEIKERT, Amy; CHINOWSKY, Paul. “Robust Prioritization Framework for Transport Infrastructure Adaptation Investments under Uncertainty of Climate Change”. **ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part A: Civil Engineering.** v.3, issue 1. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1061/AJRUA6.0000852>

GOIÁS (Estado). **Lei nº 16.497 de 10 de fevereiro de 2009.** Institui a Política Estadual sobre Mudanças Climáticas. Goiânia, GO: Diário Oficial do Estado, 2009.

GUTIERREZ, J.M.; JONES, R.G.; NARISMA, G.T.; *et al.* “IPCC WGI Interactive Atlas”. In: MASSON-DELMOTTE, V.; ZHAI, P.; PIRANI, A.; *et al.* **Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Cambridge University Press, 2021. Disponível em: <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>. Acesso em: 23 out.2023.

HALLEGATE, Stéphane; SHAH, Ankur; BROWN, Casey; LEMPERT, Robert; GILL, Stuart. **Investment Decision Making Under Deep Uncertainty - Application to Climate Change.** The World Bank. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1596/1813-9450-6193>.

IFRS FOUNDATION. **IFRS S2: IFRS Sustainability Disclosure Standard - Climate-related Disclosures.** International Sustainability Standards Board (ISSB). 2023. Disponível em: <https://www.ifrs.org/content/dam/ifrs/publications/pdf-standards-issb/english/2023/issued/part-a/issb-2023-a-ifrs-s2-climate-related-disclosures.pdf?bypass=on>. Acesso em: 08 abr.2024.

IPCC. Summary for Policymakers. In: MASSON-DELMOTTE, V.; ZHAI, P.; PIRANI, A., *et al.*. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Cambridge University Press. 2021a.

IPCC. Technical Summary. In: MASSON-DELMOTTE, V.; ZHAI, P.; PIRANI, A., *et al.*. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Cambridge University Press. 2021b.

JACOBS, Jennifer M.; KIRSHEN, Paul H.; DANIEL, Jo Sias. Considering climate change in road and building design. **EOS Transactions American Geophysical Union,** V.94, N.30, p.264. 2013. DOI:10.1002/2013eo300008

KEYNES, J.M. The general theory of employment. **The Quarterly Journal of Economics.** Oxford University Press, v. 51, n.2, p 209-223, feb.1937.

KOETSE, Mark J.; RIETVELD, Piet. Adaptation to Climate Change in the Transport Sector. **Transport Reviews**, v.32, n.3, p.267-286. 2012. DOI: 10.1080/01441647.2012.657716 .

LEVY, Barry S.; PATZ, Jonathan. Climate Change, Human Rights, and Social Justice. **Annals of Global Health**. V. 81, 3, p.310-322, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aogh.2015.08.008> .

LYONS, G.; MARSDEN, G. Opening out and closing down: the treatment of uncertainty in transport planning's forecasting paradigm. **Transportation**. Springer, v. 48, p. 595-616, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11116-019-10067-x>.

LYONS, G.; DAVIDSON, C. Guidance for transport planning and policymaking in the face of an uncertain future. **Transportation Research Part A**, v.88, p 104 - 116, abr. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.03.012> .

MANZO, Stefano; NIELSEN, Otto Anker; PRATO, Carlo Giacomo. How uncertainty in socio-economic variables affects large-scale transport models forecast. **EJTIR**, 2015. p. 304 – 316.

MARCHAU, V. *et al.* Transport futures research. *In*: WEE, B; ANNEMA, J.; BANISTER, D. **The Transport system and transport policy: an introduction**. Massachusetts, USA: Edward Elgar Publishing, 2013. Cap.13, p. 305-328.

MARSDEN, Greg; MCDONALD, Noreen C. Institutional issues in planning for more uncertain futures. **Transportation**. V. 46, p.1075–1092, 2019. DOI: 10.1007/s11116-017-9805-z .

MATO GROSSO DO SUL (Estado). Secretaria de Estado de Infraestrutura. **Documentos Concorrência Nº 001/2022**. Campo Grande, MS: 2022. Disponível em: <https://www.epe.segov.ms.gov.br/documentos-concorrenca-no-001-2022/>; Acesso em: 09 jul. 2023.

MEYER, M. D.; WEIGEL, B. Climate Change and Transportation Engineering: Preparing for a Sustainable Future . **Journal of Transportation Engineering**. ASCE, v. 137, n. 6, p. 393-403. 2011. DOI: 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000108.

MINAS GERAIS (Estado). Secretaria de Estado de Infraestrutura, Mobilidade e Parcerias. **Concorrência Internacional nº 002/2021 - Lote Triângulo**. Belo Horizonte, MG: 2022. Disponível em: <http://www.infraestrutura.mg.gov.br/component/gmg/page/2450-concorrenca-internacional-n-002-2021-lote-triangulo>. Acesso em: 09 jul. 2023.

MINAS GERAIS (Estado). Secretaria de Estado de Infraestrutura, Mobilidade e Parcerias. **Concorrência Internacional nº 003/2021 - Lote Sul de Minas**. Belo Horizonte, MG: 2023a. Disponível em: <http://www.infraestrutura.mg.gov.br/component/gmg/page/2451-concorrenca-internacional-n-003-2021-lote-sul-de-minas>. Acesso em: 09 jul. 2023.

MINAS GERAIS (Estado). Secretaria de Estado de Infraestrutura, Mobilidade e Parcerias. **Concorrência Internacional nº 001/2022 - Rodoanel**. Belo Horizonte, MG: 2023b. Disponível em: <http://www.infraestrutura.mg.gov.br/component/gmg/page/2459-concorrenca-internacional-n-001-2022-rodoanel>. Acesso em: 09 jul. 2023.

MINAS GERAIS (Estado). Secretaria de Estado de Infraestrutura, Mobilidade e Parcerias. **Concorrência Internacional nº 003/2022 - Lote Varginha - Furnas**. Belo Horizonte, MG: 2023c. Disponível em: <http://www.infraestrutura.mg.gov.br/component/gmg/page/2482-concorrenca-internacional-n-003-2022-lote-varginha-furnas>. Acesso em: 09 jul. 2023.

NG, Adolf K.Y.; WANG, Tianni; YANG, Zaili; LI, Kevin X.; JIANG, Changmin. How is Business Adapting to Climate Change Impacts Appropriately? Insight from the Commercial Port Sector. **Journal of Business Ethics**. 150, 1029–1047, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10551-016-3179-6>.

PARÁ (Estado). Secretaria de Transportes do Estado do Pará. **Detalhes de Licitação: CP-005/2022 - Processo: 2021/1276937**. Belém, PA: 2023. Disponível em: <http://setran.pa.gov.br/site/licitacao/231>. Acesso em: 09 jul.2023.

PIAUI (Estado). Superintendência De Parcerias E Concessões – Suparc. **Rodovia Transcerrados**. Teresina, PI: 2021. Disponível em: <http://www.ppp.pi.gov.br/pppteste/index.php/projetos/estudo-de-viabilidade/transcerrados/>. Acesso em: 09 jul. 2023.

PICKETTS, Ian M.; ANDREY, Jean; MATTHEWS, Lindsay; DE'RY, Stephen J. ; TIGHE, Susan. Climate change adaptation strategies for transportation infrastructure in Prince George, Canada. **Regional Environmental Change**. V. 16. 2015. DOI: 10.1007/s10113-015-0828-8

PICKETTS, Ian M.; DÉRY, Stephen J.; CURRY, John A. Incorporating climate change adaptation into local plans. **Journal of Environmental Planning and Management**. V.57, n.7, p.984-1002. 2014. DOI: 10.1080/09640568.2013.776951

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Secretaria De Parcerias E Concessões. **Rodovias (RSC-287, BLOCO 3)**. Porto Alegre, RS: 2022. Disponível em: <https://parcerias.rs.gov.br/rodovias>. Acesso em: 09 jul.2023.

SALLING, Kim Bang; LELEUR, Steen. Accounting for the inaccuracies in demand forecasts and construction cost estimations in transporte Project evaluation. **Tranport Policy**, Elsevier. v. 38, p.8-18, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2014.11.006>

SÃO PAULO (Estado). Agência de Transporte do Estado de São Paulo. **Lote Noroeste Paulista**. São Paulo, SP: 2022a. Disponível em: <http://www.artesp.sp.gov.br/Style%20Library/extranet/novas-paginas/CustomPage.aspx?page=55>. Acesso em: 09 jul. 2023.

SÃO PAULO (Estado), Agência de Transporte do Estado de São Paulo. **Licitações: Republicacao_RodoanelNorte**. São Paulo, SP: 2022b. Disponível em: http://www.artesp.sp.gov.br/_layouts/15/start.aspx#/Shared%20Documents/Forms/AllIt

ems.aspx?RootFolder=%2fShared%20Documents%2fLicita%03%a7%03%b5es%2fRep
publicacao%5fRodoanelNorte&FolderCTID=0x012000B30DF7BDFF1B3D48BCED828
4EAAFCECC. Acesso em: 09 jul. 2023.

SCHWEIKERT, Amy; CHINOWSKY, Paul; KWIATKOWSKI, Kyle; JOHNSON, Akash; SHILLING, Elizabeth; STRZEPEK, Kenneth; STRZEPEK, Niko. Road Infrastructure and Climate Change: Impacts and Adaptations for South Africa. **Journal of Infrastructure Systems**. v.21, issue 3, 2014. doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IS.1943-555X.0000235](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000235)

SCOTT, Robert E. Conflict and Cooperation in Long-Term Contracts. **California Law Review**. V. 75. p.2005-2054. 1987.

SLOVIC, P.; FISCHHOFF, B.; LICHTENSTEIN, S.; ROE, F.J.C. Perceived risk: psychological factors and social implications [and discussion]. Proceedings of the Royal Society of London. A. **Mathematical and Physical Sciences** V.376,N.1764, p.17–34. 1981.

THE WORLD BANK GROUP. International Bank for Reconstruction and Development. **Resilience Rating System: A Methodology for Building and Tracking Resilience to Climate Change**. Washington DC, Estados Unidos da América, 2021. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/9920d826-21e5-5def-898d-8ccb1daaf4a0>. Acesso em: 27 dez. 2023.

TOCANTINS (Estado). **Lei nº 1.917, de 17 de abril de 2008**. Institui a Política Estadual sobre Mudanças Climáticas, Conservação Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Tocantins, e adota outras providências. Palmas, TO: Diário Oficial do Estado, 2008.

TWEREFU, Daniel Kwabena; CHINOWSKY, Paul; ADJEI-MANTEY, Kwame; STRZEPEK, Niko Lazar. The Economic Impact of Climate Change on Road Infrastructure in Ghana. **Sustainability**. v.7. p. 11949-11966. 2015. DOI:10.3390/su70911949 .

VAJJARAPU, Harsha; VERMA, Ashish Verma1; GULZAR, Saqib. Adaptation Policy Framework for Climate Change Impacts on Transportation Sector in Developing Countries. **Transportation in Developing Economies**. Springer, V.5, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40890-019-0071-y> .

WANG, Tianni; QU, Zhuohua; YANG, Zaili; NICHOL, Timothy; CLARKE, Geoff; GE, Ying-En. Climate change research on transportation systems: Climate risks, adaptation and planning. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, V.88, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102553> .

WEAVER, Christopher P.; LEMPert, Robert J.; BROWN, Casey; HALL, John A.; REVELL, David; SAREWITZ, Daniel. Improving the contribution of climate model information to decision making: the value and demands of robust decision frameworks. **WIREs Clim Change**. V. 4, p.39–60. 2013. DOI: 10.1002/wcc.202 .

WILBY, R. L.; WIGLEY, T. M. L. Downscaling general circulation model output: a review of methods and limitations. **Progress in Physical Geography: Earth and**

Environment. V.21, issue 4, p.530-548. 1997. DOI:
<https://doi.org/10.1177/030913339702100403> .

WITZEL, Jacob. Assessment tensions: How climate mitigation futures are marginalized in long-term transport planning. **Transportation Research Part D.** V. 87, 2020. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102503> .

GLOSSÁRIO

1. **Adaptação a mudanças climáticas:** busca pela resiliência da infraestrutura às mudanças climáticas, com vistas à proteção da sua operação (NG et al., 2018)
2. **Cenários de mudanças de clima:** são usados como dados de entrada para os modelos climáticos e possuem informações sobre emissões, concentração de gases de efeito estufa, aerossóis, substâncias que destroem a camada de ozônio, e uso da terra (IPCC, 2021b). São exemplos o SSP1-1.9; SSP1-2.5; SSP2-4.5; SSP3-7.0 e SSP5-8.5.
3. **Concorrência ou licitação:** é a forma mediante a qual o poder concedente delega a prestação do serviço público de recuperação, manutenção, monitoração, conservação, implantação de melhorias, ampliação de capacidade e operação da rodovia e exploração da infraestrutura (BNDES, 2023), à pessoa jurídica que demonstre capacidade para fazê-lo, por sua conta e risco e por prazo determinado (BRASIL, 2021a). É materializada pelo leilão (BNDES, 2023).
4. **Contrato da concessão rodoviária:** contrato celebrado entre o poder concedente e a concessionária, que regula as condições contratuais da concessão rodoviária. O documento detalha as obrigações das partes e a matriz de compartilhamento de riscos, entre outras informações atinentes à concessão (BNDES, 2023).
5. **Concessão rodoviária:** a atividade de exploração de infraestrutura e prestação de serviços de operação, recuperação, manutenção, conservação, monitoração, implantação de melhorias, ampliação de capacidade e manutenção do nível de serviço de uma rodovia, com prazo e variáveis de desempenho determinados por um contrato de concessão (BNDES, 2023).
6. **Concessionária:** pessoa jurídica ou consórcio de pessoas jurídicas vencedora da licitação que, assim, se torna responsável pela exploração da infraestrutura e pela prestação do serviço público de recuperação, manutenção, monitoração, conservação, implantação de melhorias, ampliação de capacidade e operação da rodovia, conforme estabelecido no contrato de concessão rodoviária, PER e outros anexos (BNDES, 2023).
7. **Downscaling:** técnicas para identificar até que ponto os processos meteorológicos na escala local serão afetados pelas mudanças já anteriormente identificadas pelos modelos de circulação geral (GCM) do clima global (WILBY e WIGLEY, 1997).

8. **Edital de concessão rodoviária:** contém os critérios e condições para seleção e contratação da concessionária (MINAS GERAIS, 2022).
9. **Estudo de demanda da concessão rodoviária:** estudo que tem por objetivo quantificar a utilização futura da rodovia pelos veículos automotores, com base na utilização da rodovia observada no momento da realização dos estudos; perfil socioeconômico da região; situação atual da infraestrutura rodoviária; perfil de tráfego e distribuição geográfica de viagens. O resultado é usado para dimensionar investimentos, despesas operacionais e serviços a serem realizados pela concessionária, bem como projetar as receitas potenciais da concessão (BNDES, 2023)
10. **Estudo de engenharia da concessão rodoviária:** estudo que apresenta as condições da rodovia no momento da elaboração dos estudos e as intervenções necessárias para que ela atenda à demanda atual e a projetada pelo estudo de demanda, e para que ela apresente condições adequadas de qualidade, segurança e trafegabilidade. O estudo inclui a descrição atual da rodovia, as necessidades de correções e novas intervenções, bem como o orçamento necessário para tal (BNDES, 2023).
11. **Estudos de viabilidade que embasam a concessão de serviços de infraestruturas de transporte rodoviário:** englobam documentos como o estudo de demanda, de engenharia, modelo operacional e modelo econômico-financeiro, e que oferecem embasamento técnico ao poder concedente para a definição do preço (mínimo ou máximo, a depender do critério usado) da licitação, bem como as informações destinadas à elaboração dos documentos jurídicos.
12. **Eventos climáticos extremos:** são os eventos que podem ser classificados como raros, intensos ou severos, segundo as definições: i. Raros: Eventos que ocorrem com baixa frequência naquele local, normalmente tão ou mais raro do que o percentil 10 ou 90; ii. Intensos: Eventos caracterizados por valores pequenos ou grandes para a média daquele local; e iii. Graves: resultam em grandes prejuízos socioeconômicos (BENISTON et al., 2007)
13. **Forçantes radiativas:** Num clima estável, a quantidade de energia que a Terra recebe do Sol está aproximadamente em equilíbrio com a quantidade de energia que é perdida pelo planeta para o espaço sob a forma de luz solar refletida e radiação térmica. Há fatores climáticos, no entanto, como o aumento dos gases de efeito de estufa e de aerossóis, que interferem neste equilíbrio, fazendo com que

- o sistema ganhe ou perca energia. A essa força de um fator climático é denominada forçante radiativa, que é medida em W/m^2 (IPCC, 2021b).
14. **Licitação ou concorrência:** forma pela qual a concessionária obtém o direito de explorar a infraestrutura e prestar o serviço público (BRASIL, 2021a). É materializada pelo leilão (BNDES, 2023)
 15. **Mitigação a mudanças climáticas:** busca por medidas de redução da emissão de gases de efeito estufa (WANG et al., 2020)
 16. **Modelo climático:** é um modelo, elaborado por uma instituição relacionada à ciência do clima, que projeta o clima futuro tendo como base variáveis como concentração de gases de efeito estufa, aerossóis, e uso da terra (IPCC, 2021b).
 17. **Modelo de equilíbrio:** é o modelo econômico-financeiro com equação balanceada.
 18. **Modelo econômico-financeiro da Concessão rodoviária:** estudo que congrega, num único fluxo de caixa descontado, as soluções técnicas advindas dos demais estudos, tais como receitas, investimentos e despesas operacionais. Dentre os resultados finais do modelo estão a tarifa de pedágio a ser paga pelo usuário, outorga a ser paga pela concessionária ao poder concedente, ou pagamento a ser feito pelo poder concedente à concessão (na forma de aporte público, subsídios ou contraprestações) (BNDES, 2023), que será usada(o) pelo poder concedente como preço da licitação.
 19. **Modelo operacional da Concessão rodoviária:** estudo que apresenta as condições necessárias para que a concessionária atinja os padrões de desempenho, incluindo os investimentos em equipamentos, sistemas e edificações, a quantidade de pessoal, e seus custos. O modelo operacional prevê itens como instalação e operação do Centro de Controle Operacional, centros de atendimento ao usuário e gastos com comunicações, certificações e com sistemas de arrecadação de pedágio. (BNDES, 2023)
 20. **Parceria público-privada (PPP):** é o contrato de concessão de serviços públicos ou de obras públicas que contemplam, além da tarifa cobrada aos usuários, um pagamento pecuniário do parceiro público ao parceiro privado (PPP na modalidade patrocinada), ou o contrato de prestação de serviços em que a administração pública é a usuária direta ou indireta (PPP na modalidade administrativa). Diferencia-se da concessão comum por apresentar o pagamento pecuniário ao parceiro público ao privado (BRASIL, 2021b).

21. **Permafrost:** terra ou rocha, que pode conter gelo e material orgânico, que permanece, por dois anos consecutivos ou mais, abaixo de 0°C. Estão localizados em locais como o Ártico, Sibéria, Norte do Canadá e em montanhas de grande altitude (DOBINSKI, 2011).
22. **Poder Concedente:** é a União, estado, município, ou distrito federal, em cuja competência se encontre o serviço público (BRASIL, 2021a), e que concede o direito de exploração da infraestrutura e a prestação dos serviços públicos à concessionária, mediante um processo licitatório e a posterior assinatura de um contrato de concessão rodoviária (BNDES, 2023).
23. **Preço da licitação:** é o valor-teto ou o valor mínimo, definido pelo poder concedente com base nos estudos de viabilidade, a ser considerado pelos concorrentes na licitação da prestação dos serviços públicos e da exploração da infraestrutura rodoviária. Usualmente se trata do valor máximo de tarifa de pedágio a ser cobrada do usuário da rodovia; do valor mínimo de outorga a ser pago ao poder concedente; ou do valor máximo de pagamento a ser realizado pelo poder concedente à concessão.
24. **Programa de exploração rodoviária (PER):** documento que descreve as obras e serviços obrigatórios, com seus prazos e parâmetros técnicos, de acordo com as condições do contrato de concessão (BNDES, 2023).
25. **Reequilíbrio econômico-financeiro do contrato:** recomposição do equilíbrio do modelo econômico-financeiro. Ocorre quando houver desbalanceamento da equação e quando uma das partes sofre efeitos de materialização de riscos não alocados a ela na matriz de compartilhamento de riscos (MINAS GERAIS, 2022)
26. **RCP2.6; RCP 4.5; RCP 6.0 e RCP 8.5:** são os cenários - bases usados no 5º Relatório do IPCC, em que RCP é o acrônimo de Representative Concentration Pathways. O IPCC usa os cenários como método de analisar sistematicamente os futuros possíveis, e a cadeia de causa e efeito, desde as emissões causadas pelo homem, até mudanças nas concentrações atmosféricas e mudanças no balanço de energia terrestre (IPCC, 2021b)
27. **SSP1-1.9; SSP1-2.5; SSP2-4.5; SSP3-7.0 e SSP5-8.5:** são os cinco cenários-base mais utilizados no 6º Relatório do IPCC. SSP é o acrônimo de Shared Socioeconomic Pathways, e os numerais 2.5, 4.5, 7.0 e 8.5 representam a forçante radiativa aproximada, em W/m², resultante do cenário em 2100. Cada cenário possui sua própria informação sobre emissões futuras, concentração de gases de

efeito estufa, aerossóis, substâncias que destroem a camada de ozônio, e uso da terra, que é usada na elaboração das projeções da mudanças do clima. O IPCC usa os cenários como método de analisar sistematicamente os futuros possíveis, e a cadeia de causa e efeito, desde as emissões causadas pelo homem, até mudanças nas concentrações atmosféricas e mudanças no balanço de energia terrestre (IPCC 2021a; IPCC 2021b).