MODELAGEM PISF

Estruturação de projeto de concessão do serviço de adução de água bruta no âmbito do Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional – PISF

RELATÓRIO DE OFERTA, DEMANDA, SOCIOAMBIENTAL E ENGENHARIA

TOMO IV – MUDANÇA DO CLIMA E RISCOS ASSOCIADOS

ELABORADO: M.F.S/ E.C.B	APROVADO: Andrei de Mesquita Almeida CAU Nº A49563-8
VERIFICADO: A.M.A	COORDENADOR GERAL: Marcos Oliveira Godoi
Nº (CLIENTE):	CREA Nº 0605018477-SP
	DATA: 18/06/2025
Nº ENGECORPS: Relatório de Mudança de Clima e Riscos Associados	

ÍNDICE

PÁG.

1. APRESENTAÇÃO 4

2. SUMÁRIO EXECUTIVO 6

2.1 ESTIMATIVAS DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (GEE) 6

2.2 ANÁLISE DE RISCOS CLIMÁTICOS: RISCOS DE TRANSIÇÃO E MITIGAÇÃO DA MUDANÇA DO CLIMA 7

2.3 IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DE RISCOS CLIMÁTICOS ASSOCIADOS À ADAPTAÇÃO NO PISF 7

3. ESTIMATIVAS DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (GEE) 9

3.1 ABORDAGEM METODOLÓGICA 9

3.2 LIMITES ORGANIZACIONAIS 11

3.3 ANO BASE 12

3.4 PREMISSAS PARA CONTABILIZAÇÃO DAS EMISSÕES DE ESCOPO 1 12

3.4.1 Fatores de emissão para combustão móvel 13

3.5 PREMISSAS PARA CONTABILIZAÇÃO DAS EMISSÕES DE ESCOPO 2 15

3.5.1 Cenários de consumo de energia elétrica no PISF 15

3.5.2 Cenários de fatores de emissão do Sistema Interligado Nacional 16

3.6 CONSIDERAÇÕES SOBRE EMISSÕES DE ESCOPO 3 19

3.7 RESULTADOS 20

3.7.1 Emissões de Escopo 1 20

3.7.2 Emissões de Escopo 2 22

3.7.3 Inventário de Gases de Efeito Estufa para o Ano Base 23

4. ANÁLISE DE RISCOS CLIMÁTICOS: RISCOS DE TRANSIÇÃO E MITIGAÇÃO DA MUDANÇA DO CLIMA 25

4.1 ABORDAGEM METODOLÓGICA 25

4.1.1 Recomendações do Task Force on Climate-related Financial Disclosures 25

4.1.2 Enquadramento para a consideração de Riscos de Transição 26

4.2 RESULTADOS 28

4.2.1 Etapa 1: Matriz de Exposição ao Risco da Infraestrutura 28

4.2.2 Etapa 2: Detalhamento de impactos potenciais 34

4.2.2.1 Aumento da eficiência energética nos serviços de operação e manutenção 35

4.2.2.2 Autoprodução de energia fotovoltaica 37

4.2.2.3 Taxa de carbono 38

4.2.2.4 Detalhamento da matriz de exposição à riscos de transição 40

4.2.3 Etapa 3: Estimativa financeira 42

5. IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DE RISCOS CLIMÁTICOS ASSOCIADOS À ADAPTAÇÃO NO PISF 44

5.1 ABORDAGEM METODOLÓGICA 44

5.1.1 Identificação das ameaças climáticas no contexto do empreendimento 45

5.1.2 Identificação de riscos potenciais afetando o empreendimento 46

5.1.3 Avaliação preliminar do risco climático: severidade e probabilidade para a relevância do risco 47

5.2 RESULTADOS 48

5.2.1 Fatores de risco na bacia do Rio São Francisco e bacias receptoras do PISF 48

5.2.2 Matriz de exposição ao Risco Físico 60

5.3 RECOMENDAÇÕES DE INFRAESTRUTURA RESILIENTE 63

1. APRESENTAÇÃO

Em 30 de outubro de 2018, foi celebrado o Contrato OCS nº 425/2018, entre o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e o Consórcio Modelagem PISF – E/M&P/C, composto por Engecorps Engenharia S/A, Moysés & Pires Sociedade de Advogados e Ceres Inteligência Financeira LTDA, tendo como objeto a prestação de "Serviços Técnicos necessários para a modelagem de empreendimento com vistas à prestação do serviço de adução de água bruta, no âmbito do Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional (PISF)" ("Estudos Iniciais").

O escopo de trabalho foi dividido em duas fases: Fase 1, que consiste na elaboração dos estudos de modelagem do empreendimento para sua aprovação pelos tomadores de decisão na esfera pública federal; e, Fase 2, que consiste na preparação do material do Edital de Concessão, Contrato e demais anexos, bem como a condução do processo de audiências preparatórias. Entretanto, naquela ocasião, apenas a Fase 1 foi concluída.

Dando continuidade à elaboração dos Estudos Iniciais, em 10 de julho de 2023, foi celebrado o Contrato OCS nº 190/2023, entre o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e o Consórcio Engecorps - Moysés & Pires – Ceres – formado pelas mesmas empresas que compunham o Consórcio Modelagem PISF – E/M&P/C –, tendo como objeto a prestação de serviços técnicos consultivos necessários à estruturação de projeto de concessão do serviço de adução de água bruta, podendo incluir a disponibilização de infraestrutura, no âmbito do Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional (PISF).

Esse escopo foi divido em cinco etapas:

QUADRO 1.1 – ETAPAS DOS ESTUDOS

Etapa	Evento/Produto
Etapa 1: Atualização dos estudos	Relatório de Oferta e Demanda, Socioambiental e Engenharia
	Relatório Jurídico e Institucional
	Relatório de Avaliação Econômico-Financeira
Etapa 2: Modelagem da Concessão	Relatório de Modelo de Concessão
Etapa 3: Preparação do edital	Minuta de Edital e Anexos
	Aprovação do Contrato de Concessão - CDEP
Etapa 4: Preparação para o leilão	Aprovações da modelagem/documentos pelos Estados
	Publicação da Consulta Pública
	Roadshow
	Audiência Pública
	Término da Consulta Pública
	Envio dos estudos ao TCU
	Acórdão TCU
Etapa 5: Leilão	Leilão
	Celebração do contrato de concessão
	Relatório Final Consolidado

Dessa maneira, o presente documento se refere ao RELATÓRIO DE OFERTA, DEMANDA, SOCIOAMBIENTAL E ENGENHARIA, que se divide em cinco tomos temáticos, como explicado a seguir:

- Tomo I – Estudos Socioambientais;
- Tomo II – Oferta e Demanda;
- Tomo III – Estado Atual do PISF;
- Tomo IV – Mudança do Clima e Riscos Associados; e
- Tomo V - Investimentos, Operação e Manutenção.

Este TOMO IV – MUDANÇA DO CLIMA E RISCOS ASSOCIADOS apresenta o contexto atual dos estudos ambientais associados ao PISF, especificamente em relação a:

- Estimativas de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) para todo o período do PROJETO e levantamento dos custos para a realização anual de inventários de emissões a partir do início da implementação do PROJETO.
- Identificação e análise de riscos climáticos associados à mudança do clima e os impactos de ações de mitigação nos investimentos e custos de operação e manutenção do PROJETO.

2. SUMÁRIO EXECUTIVO

Este sumário executivo tem como objetivo antecipar ao leitor os principais resultados obtidos deste estudo, visando estabelecer um retrato amplo baseado em macro-indicadores para os principais temas tratados neste estudo. A pormenorização dos resultados e detalhamento de metodologias podem ser vistos nos tópicos que seguem.

2.1 ESTIMATIVAS DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (GEE)

Para a aplicação da metodologia adotada, os limites operacionais do empreendimento considerados no inventário foram delimitados pela infraestrutura de adução e armazenamento de água bruta do PISF, sendo composta por uma rede de canais, adutoras, barragens, estruturas de controle, estações de bombeamento, túneis, aquedutos, galerias e estruturas complementares. Esta estrutura se estende através dos Estados de Pernambuco, Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte, e constituem os Eixos Leste e Norte do PISF. Além disso, foram delimitados dois escopos para a efetuação da estimativa: Escopo 1, para as emissões móveis e Escopo 2, relativo às estruturas do empreendimento. Para estimar emissões futuras de Escopo 2 foi considerado como Cenário Base o Cenário 1 apresentado nos Tomos II e V deste produto (consumo de 55.000 MWh)

- Eixo Leste 50% e Eixo Norte 50% de capacidade instalada;
- Séries históricas de afluências naturais nas bacias receptoras;
- Reservatórios receptores operando no volume mínimo (eficiência no armazenamento e uso da água);
- Regras de bombeamento segundo Plano de Operação Anual.

Demandas prioritárias

- Resumo das Emissões Totais:
    - Toneladas de gás:
        - Escopo 1: 677,32;
        - Escopo 2: 46.211.
    - Toneladas métricas de CO2 equivalente:
        - Escopo 1: 698,44;
        - Escopo 2: 46.211.

2.2 ANÁLISE DE RISCOS CLIMÁTICOS: RISCOS DE TRANSIÇÃO E MITIGAÇÃO DA MUDANÇA DO CLIMA

Foi elaborada uma matriz inicial de exposição ao risco da infraestrutura, partindo-se das categorias de riscos e oportunidades, uma relacionada ao mercado e a transições tecnológicas, e outra referente a políticas públicas e medidas regulatórias. A seguir, apresenta-se um resumo das conclusões obtidas.

- Mercado e transições tecnológicas.
    - Aumento da eficiência energética dos serviços de O&M
    - Instalação de placas para geração de energia fotovoltaica nas estruturas de adução de água bruta para autoprodução de energia elétrica
- Políticas públicas e medidas regulatórias.
    - Cobrança de uma taxa de carbono.
    - Busca por adequação do empreendimento junto aos órgãos reguladores; obtenção de nova licença de operação

Verificou-se, considerando o CAPEX e OPEX do PISF apresentado no Tomo V deste relatório, que os impactos financeiros percentuais associados à autoprodução de energia fotovoltaica apresentariam o maior potencial de impacto positivo, representando até 27% dos custos de operação no cenário "Emissões Zero em 2050" em função da redução do consumo da rede. Para a taxa de carbono, no cenário de emissões "Favorável" e na conjuntura política de "Compromissos anunciados", o impacto potencial ficaria em torno de 0,5%, atingindo quase 3% em um cenário regulatório mais agressivo.

2.3 IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DE RISCOS CLIMÁTICOS ASSOCIADOS À ADAPTAÇÃO NO PISF

A análise elaborada no capítulo 5 seguiu, como metodologia, a identificação de ameaças climáticas e a identificação e análise dos riscos potenciais associados. Esta avaliação dos riscos foi feita através da ponderação entre duas características principais: severidade e probabilidade de ocorrência.

Como resultado desta análise, a Matriz de Exposição ao Risco Físico identificou 17 categorias de risco (organizadas em 4 tipos de ameaças climáticas), sendo que destas, 6 foram enquadradas com classificação alta de risco (probabilidade média e severidade crítica, ou probabilidade baixa e severidade extrema):

- Mudanças crônicas de parâmetros climatológicos (tendência de aumento da temperatura média, aumento da evaporação e diminuição da precipitação média):
    - Alteração das condições operacionais da infraestrutura (níveis máximos e mínimos, vazões disponíveis, entre outros): risco moderado;
    - Interrupção da operação em caráter momentâneo: risco baixo;
    - Redução progressiva da disponibilidade hídrica na bacia do Rio São Francisco: risco alto;
    - Diminuição progressiva da disponibilidade hídrica nas bacias receptoras: risco alto;

- Aumento da temperatura máxima, aumento de dias quentes:
    - Interrupção do provimento de energia elétrica: risco moderado;
    - Danos a linhas de transmissão e distribuição: risco moderado;
- Intensificação das condições de aridez e dos períodos de seca:
    - Aumento de perturbações na operação: risco baixo;
    - Eventos de disponibilidade hídrica crítica na bacia do Rio São Francisco mais frequentes: risco alto;
    - Eventos de disponibilidade hídrica crítica nas bacias receptoras mais frequentes: risco alto;
    - Danos a linhas de transmissão e distribuição: risco moderado
- Eventos extremos de precipitação
    - Danificação das estruturas de adução de água (canais, estruturas de medição, entre outros): risco moderado;
    - Interrupção da operação em caráter emergencial: risco alto;
    - Transbordamento dos canais em eventos de cheia atípicos e danificação das estruturas de drenagem: risco moderado;
    - Aumento da erosão e da possibilidade de deslizamentos: risco moderado;
- Ventos fortes:
    - Danos a linhas de transmissão e distribuição: risco alto;
- Incêndios:
    - Danos a linhas de transmissão e distribuição: risco moderado;
    - Danificação das estruturas de adução de água (canais, estruturas de medição, entre outros): risco moderado.

3. ESTIMATIVAS DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (GEE)

3.1 ABORDAGEM METODOLÓGICA

A estimativa das emissões de gases de efeito estufa[1] (GEE) do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF) no contexto da prestação do serviço de adução de água bruta seguiu a metodologia consolidada pelo Programa Brasileiro *Greenhouse Gas Protocol* para a elaboração de inventários corporativos, que estabelece diretrizes amplamente utilizadas e validadas técnica e cientificamente ao redor do mundo. A aplicação da metodologia do GHG Protocol no contexto brasileiro teve início em 2008 e é compatível com as recomendações internacionais da *International Organization for Standardization* (ISO) e do Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC) (FGVces & WRI, 2008). A abordagem aqui descrita obedece às diretrizes de elaboração estabelecidas no documento "Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol: Contabilização, Quantificação e Publicação de Inventários Corporativos de Emissões de Gases de Efeito Estufa (Segunda Edição)", publicado pelo Centro de Estudo em Sustentabilidade da Fundação Getulio Vargas (FGVces) e o *World Resources Institute* (WRI).

O Programa Brasileiro GHG Protocol tem como foco a consolidação de uma cultura de gestão voluntária de emissões de GEE no país, fornecendo orientações e disponibilizando uma ferramenta para o cálculo e elaboração de inventários corporativos em nível organizacional. No Brasil, assim como no *GHG Protocol Corporate Standard* e na norma ISO 14064-1, o processo, que vai desde a contabilização das emissões até a publicação dos inventários, obedece a cinco princípios fundamentais, sumarizados na Figura 3-1**.**

Para uma organização, a elaboração do inventário de emissões de GEE permite definir metas com diferentes propósitos, que incluem, por exemplo: a gestão de riscos de GEE e identificação de oportunidades de redução; a elaboração de um relatório público e participação em programas voluntários de GEE; a participação em programas obrigatórios de inventário; a participação em mercados de GEE, e o reconhecimento por ação voluntária antecipada (FGVces & WRI, 2008).

Para o propósito imediato do presente trabalho, destaca-se a importância do inventário de gases de efeito estufa do Projeto de Integração do Rio São Francisco para a identificação de riscos e oportunidades do empreendimento relacionados à mitigação da mudança do clima. A partir da quantificação das emissões associadas à operação dos serviços de adução de água bruta no PISF é possível obter clareza quanto à exposição a riscos em potencial, bem como apontar possíveis responsabilidades pela redução dessas emissões.

[1] *Os mais relevantes sendo o dióxido de carbono (CO2), o metano (CH4) e o óxido nitroso (N2O).*

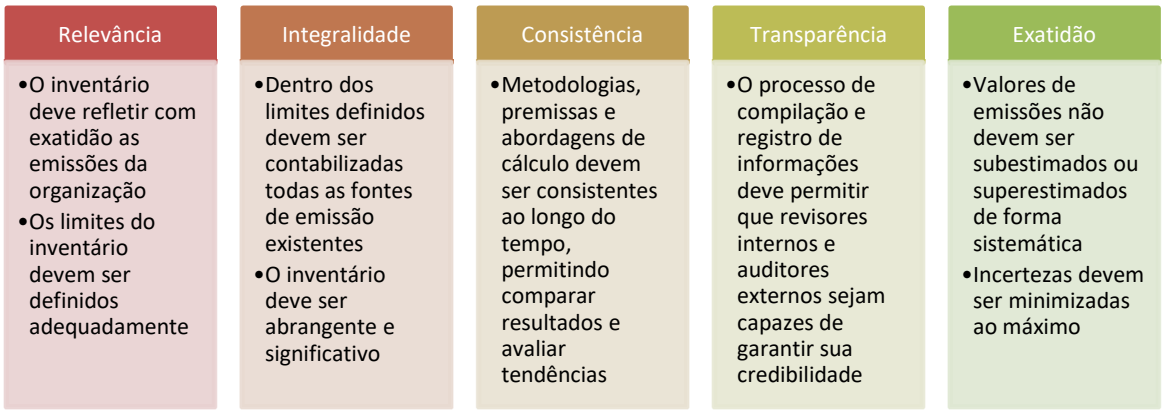


Figura 3-1: Cinco princípios para a contabilização de GEE e elaboração de inventários corporativos (Elaborado com base em FGVces & WRI, 2008)

Riscos associados à mitigação da mudança do clima podem incluir o surgimento de novas regulamentações no âmbito político e ambiental para a redução das emissões de GEE em nível nacional. Assim, para uma organização que tenha emissões consideradas significativas, em um novo contexto regulatório de baixo-carbono, a operação normal de suas atividades pode acarretar custos adicionais e possivelmente elevados. Por outro lado, é a partir da elaboração do inventário que se torna possível identificar oportunidades de redução das emissões, em muitos casos resultando no uso mais racional dos recursos naturais, maior eficiência energética ou ainda no desenvolvimento de novas tecnologias, produtos e serviços menos intensos em carbono (FGVces & WRI, 2008). Adicionalmente, a obrigatoriedade do reporte de emissões é uma tendência crescente. Em São Paulo, por exemplo, desde 2012 a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) estabeleceu[2] que empreendimentos de atividades selecionadas deveriam submeter de forma imperativa e com frequência anual seus inventários de gases de efeito estufa.

O primeiro passo para a elaboração de um inventário é a demarcação das fronteiras do empreendimento dentro das quais serão contabilizadas as emissões de GEE. Em relação aos limites geográficos, as diretrizes do Programa Brasileiro *GHG Protocol* estabelecem que devem ser reportadas todas as fontes de emissão do empreendimento localizadas em território nacional. A partir daí, devem ser definidos os limites organizacionais, que dependem da estrutura do empreendimento e das características de suas atividades, podendo ser classificados de acordo com o critério de participação societária ou controle operacional. Em relação às emissões associadas a operação do empreendimento, é necessário identificar e qualificar as fontes como diretas ou indiretas. Emissões de GEE caracterizadas como diretas são aquelas que se originam em fontes sob controle da organização, enquanto emissões indiretas, apesar de resultar das atividades dessa organização, não pertencem ou não são controladas por ela.

Para esse exercício de classificação, a metodologia empregada divide emissões diretas e indiretas em três escopos, apresentados na Figura 3-2**.**

[2] Decisão de Diretoria Nº 254/2012/V/I, de 22/08/2012.

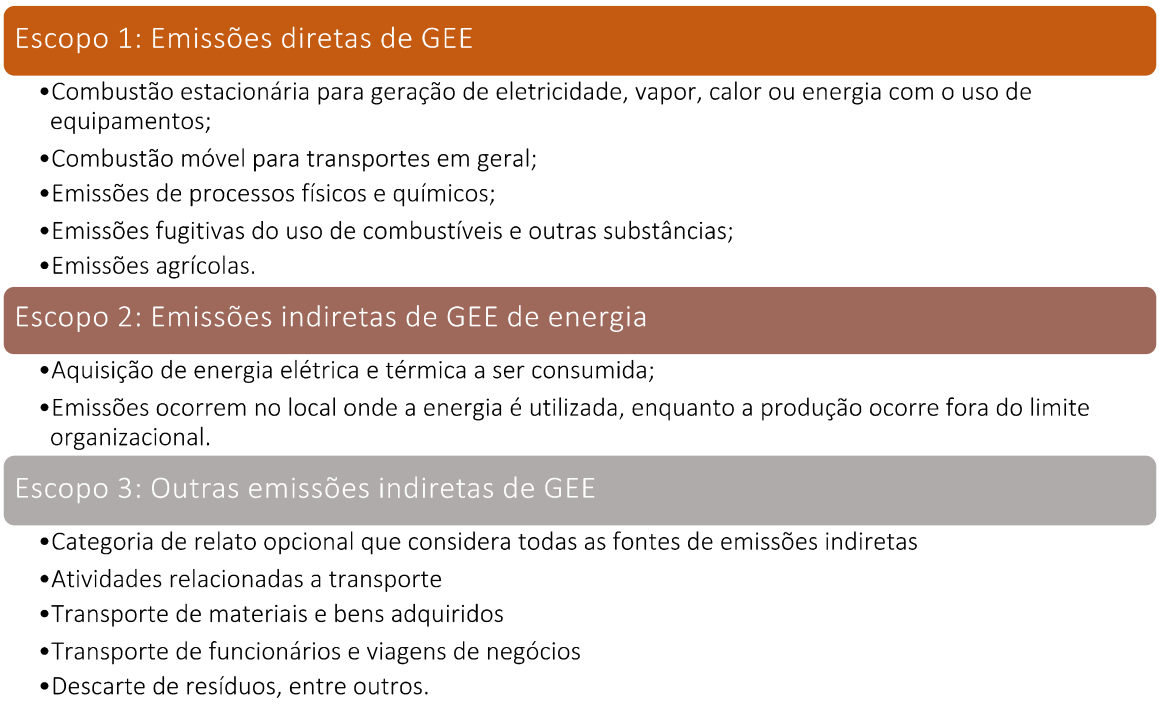


Figura 3-2 – Classificação dos escopos adotados para a contabilização e elaboração do inventário de GEE (Elaborado com base em FGVces & WRI, 2008)

A partir dos limites definidos para o inventário organizacional e da identificação das fontes de acordo com os Escopos apresentados, é escolhida uma abordagem para o cálculo das emissões, sendo a aplicação de fatores de emissão a estratégia mais comumente empregada (FGVces & WRI, 2008). Fatores de emissão são valores documentados na literatura especializada que relacionam uma fonte emissora à quantidade de gases GEE produzidos, por exemplo, o consumo de energia elétrica em MWh às toneladas de dióxido de carbono equivalente[3] associadas. Na sequência, a coleta de dados deve então levantar todos os valores de consumo identificados para as fontes correspondentes a cada Escopo.

As seções a seguir detalham as premissas assumidas para a elaboração do inventário de emissões de GEE do PISF considerando a abordagem metodológica discutida.

3.2 LIMITES ORGANIZACIONAIS

Dado que o PISF é um empreendimento direcionado à prestação do serviço de adução de água bruta, a contabilização das emissões associadas às suas atividades é enquadrada dentro da abordagem de controle operacional. Para tanto, os limites operacionais do empreendimento a serem considerados no inventário são delimitados pela infraestrutura composta por uma rede de canais, adutoras, barragens, estruturas de controle, estações de bombeamento, túneis, aquedutos, galerias e estruturas

[3] *Metodologia para a conversão de GEE em CO2 por meio da aplicação de um fator de equivalência, denominado Global Warming Potential (GWP).*

complementares, para adução e armazenamento de água bruta, partindo do Rio São Francisco e atendendo os Estado de Pernambuco, Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte, e constituem os Eixos Leste e Norte do PISF. Ressalta-se que os ramais que derivam do PISF não foram considerados como parte integrante de sua infraestrutura no âmbito deste trabalho. Apesar disso, nas modelagens de consumo de energia elétrica para prestação do serviço de adução de água são considerados como implantados os Ramais do Apodi e do Agreste, apenas, sendo aquele primeiro parte integrante do Sistema PISF junto com os dois eixos estruturantes.

3.3 ANO BASE

O presente estudo tem como objetivo a estimativa das emissões de gases de efeito estufa para todo o período de operação do PISF, não incluindo em seu escopo a elaboração do inventário corporativo das operações em seu estado atual, que será conduzido somente após a implementação da concessão do empreendimento. Apesar da metodologia adotada ser direcionada para inventários corporativos, os quais são elaborados para um Ano Base, atual ou anterior às atividades consideradas para contabilização das emissões, ela pode ser aplicada sem prejuízos em exercícios de estimativas ou projeções futuras de emissões.

Para a definição do Ano Base, é importante considerar um período completo de operações do empreendimento, que tenha início em janeiro e seja finalizado em dezembro do mesmo ano. Dado que o presente inventário não tem como escopo servir ao registro público de emissões, o Ano Base foi adotado de acordo com a disponibilidade de dados em relação à projeção de implantação e operação da infraestrutura. Segundo dados utilizados nos estudos de engenharia, as especificações da frota de veículos do PISF são para um ano típico, adotando-se um Ano Base equivalente para o cálculo das emissões de GEE.

3.4 PREMISSAS PARA CONTABILIZAÇÃO DAS EMISSÕES DE ESCOPO 1

Para as emissões de Escopo 1, foi identificado apenas o consumo de combustível para movimentação da frota de veículos de operação, que incluem atividades de vistoria, limpeza, serviços preventivos e corretivos regulares e serviços emergenciais e de vigilância. As características dos veículos identificados como parte da frota são apresentadas no Quadro 3-1**.**

QUADRO 3-1 CARACTERIZAÇÃO DOS VEÍCULOS CONSTITUINTES DA FROTA DE OPERAÇÃO DO PISF

Tipo de Veículo	Modelo	Tipo de Combustível
Caminhonete	S10 CD VW	Diesel
Caminhonete	VW Amarok 2.0 CD SE	Diesel
Automóvel 1.6	VW Voyage 1.6	Flex – Gasolina
Automóvel 1.6	Hatch VW GOL 1.6	Flex – Gasolina
Motocicleta	NXR BROS Motocicleta	Flex - Gasolina
Caminhão Munck	Não especificado	Diesel

Elaboração: Consórcio Engecorps/Moysés & Pires/CERES,2023

Dado que o ano da frota não é especificado, foi assumido que este seria igual ao Ano Base, ou seja, o ano em que começam as simulações de operação do PISF. O Quadro 3-2 traz a relação de automóveis da frota e o consumo anual de combustível correspondente.

QUADRO 3-2: TAMANHO DA FROTA E CONSUMO DE COMBUSTÍVEL ANUAL

Tipo de Veículo	Tamanho da frota	Consumo de combustível (litros/ano)
Caminhonete – Diesel	49	158.726,99
Automóvel - Gasolina	42	110.102,59
Motocicleta – Gasolina	68	28.405,62
Caminhão Munck - Diesel	4	37.774,40

Elaboração: Consórcio Engecorps/Moysés & Pires/CERES,2023

Para o cálculo das emissões anuais multiplica-se então o consumo em litros do veículo estimado a partir da previsão de quilometragem coberta na operação cotidiana do PISF pelo fator de emissão específico para cada tipo de gás contido no combustível utilizado.

3.4.1 FATORES DE EMISSÃO PARA COMBUSTÃO MÓVEL

Para o cálculo das emissões de dióxido de carbono no contexto da combustão móvel é necessário separar a porção do combustível que é de origem fóssil daquela de origem biogênica, dado que emissões de CO_2 provenientes da queima de biocombustível não contribuem para o agravamento da mudança do clima e, portanto, não integram o total das emissões de GEE. Além disso, para os veículos do tipo Flex não é definido a priori o tipo de combustível que será utilizado, de forma que foram considerados dois cenários: um em que esses veículos são movidos exclusivamente à gasolina e outro em que são movidos exclusivamente à etanol. Como o tipo de caminhão Munck ainda não foi especificado, foram adotados parâmetros aplicáveis a um caminhão médio. Assim, a composição dos combustíveis para a aplicação dos fatores de emissão (FE) para cada tipo de veículo foi assumida conforme o Quadro 3-3. Destaca-se que essa estimativa limita-se somente ao serviço de operação projetado, não abarcando veículos de serviços de manutenção que venham a ocorrer.

QUADRO 3-3: COMPOSIÇÃO DO COMBUSTÍVEL PARA CADA TIPO DE VEÍCULO NO BRASIL.

Tipo de Veículo	Tipo de veículo para composição do FE	Composição do combustível	
		Combustível fóssil	Biocombustível
Automóvel	Automóvel Flex à gasolina	Gasolina Automotiva (pura)	Etanol Anidro
Automóvel	Automóvel Flex à etanol	-	Etanol Hidratado
Motocicleta	Motocicleta Flex à gasolina	Gasolina Automotiva (pura)	Etanol Anidro
Motocicleta	Motocicleta Flex à etanol	-	Etanol Hidratado
Caminhonete	Veículo comercial leve à Diesel	Óleo Diesel (puro)	Biodiesel (B100)
Caminhão Munck	Caminhão - caminhão (média)	Óleo Diesel (puro)	Biodiesel (B100)

Elaboração: Consórcio Engecorps/Moysés & Pires/CERES,2023

As emissões finais são então calculadas com base no tipo de veículo da frota – para CH_4 e N_2O – e na composição do combustível utilizado – para CO_2. A CETESB disponibiliza fatores de emissão para veículos que utilizam gasolina automotiva e veículos leves à diesel do tipo comercial expressos em g/km. Para a obtenção do fator de emissão em kg/L é então feita uma conversão com base no consumo médio de combustível por km rodado, dado que também é fornecido pela CETESB. No caso de veículos a etanol, os valores são disponibilizados pelo Ministério do Meio Ambiente e passam pelas mesmas etapas de conversão de medidas. Para os veículos a diesel na categoria de caminhões, as mesmas conversões foram feitas com base em dados fornecidos pelo Departamento de Segurança Energética e Net Zero e pelo Departamento de Estratégia Empresarial, Energética e Industrial do Reino Unido. Para o fator de emissão com base no tipo de combustível, são adotados valores fornecidos pelo Ministério do Meio Ambiente. Assim, são apresentadas no Quadro 3-4 e no Quadro 3-5 os fatores de emissão adotados para o tipo de frota e composição do combustível para cada GEE (CO_2, CH_4 e N_2O, quando aplicável), respectivamente.

QUADRO 3-4: FATORES DE EMISSÃO POR TIPO DE FROTA.

Tipo de veículo para composição do FE	CH_4 (Kg/L)	N_2O (Kg/L)
Automóvel Flex à gasolina	0,000065*	0,000266*
Automóvel Flex à etanol	0,000225**	0,000173**
Motocicleta Flex à gasolina	0,000864*	0,000086*
Motocicleta Flex à etanol	0,000586**	0,000059**
Veículo comercial leve à Diesel	0,000197***	0,000227***
Caminhão - caminhão (média)	0,000139***	0,000139***

Elaboração: Consórcio Engecorps/Moysés & Pires/CERES,2023. Fonte: *(CETESB, 2022), **(MMA, 2014), ***(DEFRA, 2022)

QUADRO 3-5: FATORES DE EMISSÃO PELA COMPOSIÇÃO DO COMBUSTÍVEL.

Tipo de combustível		CO_2 (Kg/L)*
Combustível fóssil	Gasolina Automotiva (pura)	2,2120
Biocombustível	Etanol Anidro	1,5260
Biocombustível	Etanol Hidratado	1,4570
Biocombustível	Biodiesel (B100)	2,4310
Combustível fóssil	Óleo Diesel (puro)	2,6030

Elaboração: Consórcio Engecorps/Moysés & Pires/CERES,2023. Fonte: *(MMA, 2014)

Por fim, para a aplicação do fator de emissão do dióxido de carbono, é ainda necessário definir a proporção de biocombustível presente em cada tipo de combustível. Segundo levantamento feito pela Ferramenta Intersetorial *GHG Protocol* na versão de 2023, a porcentagem média de etanol na gasolina para o Ano Base é de 27%. É assumido como premissa que a frota do PISF permanecerá a mesma durante todo o horizonte considerado, a proporção de etanol na gasolina e de biodiesel no diesel, no entanto, são previstas de aumentar. Segundo a Resolução nº 3 do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) de 2023[4], a proporção de biodiesel no diesel subiu para 12% a partir de 01/04/2023, e deve subir para 13% em 01/04/2024, para 14% em 01/04/2025, chegando finalmente 15% a partir

[4] *Disponível em: https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2023/03/governo-oficializa-ampliacao-da-mistura-de-biodiesel-no-diesel-vendido-no-pais*

de 01/04/2026. Existem alguns sinais de que haja um possível aumento na proporção de etanol na gasolina para 30% nos próximos anos, mas não há normativas quanto a esse combustível.

Tal aumento resultará em menores emissões de GEE, porém em maior consumo de combustível por veículo, em proporções que não cabem ao escopo do presente trabalho estimar. Assim, para fins de projeções futuras assume-se que as emissões de Escopo 1 do PISF permanecerão similares às calculadas para o Ano Base, de forma que os inventários a serem elaborados anualmente quando da operação do empreendimento serão responsáveis por incorporar essas alterações.

3.5 PREMISSAS PARA CONTABILIZAÇÃO DAS EMISSÕES DE ESCOPO 2

As emissões de Escopo 2 no PISF foram identificadas como provenientes de duas categorias principais de atividades, sendo elas:

- Energia Elétrica para Bombeamento;
- Energia Elétrica nos Centros Administrativos, Postos de Trabalho, Postos de Vigilância, Estações de Bombeamento, Estruturas de Controle, e usos difusos nos eixos, classificado como "consumo constante".

Para o cálculo das emissões foram utilizados dados de projeção de consumo mensal de energia em MWh e fatores de emissão do Sistema Interligado Nacional (SIN), assumindo que a aquisição de eletricidade é quantificada a partir da abordagem baseada na localização (*location-based*). De acordo com a metodologia do Programa Brasileiro GHG Protocol, essa abordagem quantifica as emissões de Escopo 2 "utilizando como fator de emissão a média das emissões para geração da energia elétrica em um determinado sistema elétrico (grid), considerando seu limite geográfico e um dado período de tempo" (FGVces, 2018, p.5). Assim, os fatores de emissão a serem aplicados são calculados mensalmente e disponibilizados pelo Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicação (MCTIC)[5], que considera as emissões associadas a todas as usinas produzindo energia no intervalo de tempo considerado. Em um inventário de emissões corporativos, os fatores de emissão aplicados serão aqueles registrados no Ano Base.

Outra variável importante na quantificação das emissões desse Escopo está relacionada ao consumo mensal de energia, que em um empreendimento como o PISF, irá depender das vazões de água bruta bombeadas a cada período. O bombeamento de água nas estruturas de adução, principalmente considerando o horizonte de operação do projeto, será influenciado por conjunturas de diversas naturezas, por sua vez motivadas por fatores técnicos, climáticos, políticos, e socioeconômicos, entre outros. Dessa forma, para estimar emissões futuras de Escopo 2 foi considerado como Cenário Base o Cenário 1 apresentado nos Tomos II e V deste produto.

3.5.1 CENÁRIOS DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO PISF

Custos de investimento, operação e manutenção no PISF, assim como as emissões de GEE, estão diretamente conectados ao consumo de energia elétrica do empreendimento, podendo variar de

[5] Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/dados-e-ferramentas/fatores-de-emissao

acordo com os critérios adotados para o bombeamento de água bruta, como por exemplo: a área beneficiada pelos sistemas de adução; a capacidade instalada nas estações de bombeamento; os regimes de operação do sistema; e as demandas nas bacias receptoras em função de condições hidrológicas e de gerenciamento dos recursos hídricos. Dessa forma, considerando uma abordagem por cenários para a gestão proativa de incertezas, o Quadro 3-6 traz a descrição das características do Cenário Base (equivalente ao Cenário 1 apresentado no Tomo V) e do Cenário Máximo (equivalente ao Cenário 3 apresentado no Tomo V) considerado para a estimativa do consumo de energia elétrica.

QUADRO 3-6: CENÁRIOS DE CONSUMO APROXIMADO DE ENERGIA ELÉTRICA MENSAL

Cenário	Descrição	Consumo médio mensal (MWh)
Cenário Base (Cenário 1)	▪ Eixo Leste 50% e Eixo Norte 50% de capacidade instalada ▪ Séries históricas de afluências naturais nas bacias receptoras ▪ Reservatórios receptores operando no volume mínimo (eficiência no armazenamento e uso da água) ▪ Regras de bombeamento segundo Plano de Operação Anual ▪ Demandas prioritárias	55.000
Cenário Máximo (Cenário 3)	▪ Eixo Leste 100% e Eixo Norte 100% de capacidade instalada ▪ Séries históricas de afluências naturais nas bacias receptoras ▪ Reservatórios receptores operando no volume mínimo (eficiência no armazenamento e uso da água) ▪ Bombeamento pleno ao longo do ano ▪ Demandas totais	133.000

Elaboração: Consórcio Engecorps/Moysés & Pires/CERES,2023

Nesses cenários consideram-se os consumos de energia dentro do Sistema PISF (Eixos Estruturantes e Ramal Apodi).

Como apresentado no Tomo V, para o Cenário Base adota-se o consumo médio mensal de 55.000 MWh como referencial para cálculos relacionados à implantação e operação do Sistema PISF. Assim, esse cenário será tomado como base para as estimativas de emissões de GEE no período 2026-2060.

3.5.2 CENÁRIOS DE FATORES DE EMISSÃO DO SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL

Os fatores de emissão registrados para o Sistema Interligado Nacional variam de acordo com a composição da matriz energética em um momento específico, de forma que as emissões associadas ao consumo de energia elétrica irão depender das condições de operação do SIN em cada mês. Assim, para estimar emissões futuras de Escopo 2, foram adotados cenários de fatores de emissão selecionados com base em dados históricos desse parâmetro, representado em $kgCO_2eq/KWh$. A análise teve como base as estatísticas descritivas de valores mensais de fatores de emissão entre o ano de 2006 e 2022, que corresponde ao intervalo de séries completas disponibilizadas pelo MCTIC.

Uma vez que o cálculo dos fatores de emissão para o SIN depende de diversas variáveis complexas e altamente dependentes do contexto, a definição de cenários considerou a adoção de dois dos anos registrados na série histórica como representativos de situações de interesse, estabelecendo assim limites potenciais para a estimativa de emissões futuras. A Figura 3-3 abaixo apresenta a média, a mediana, os valores máximos e mínimos e o desvio padrão obtidos a partir das séries descritas, bem como para a média mensal para os anos considerados. São destacados os anos identificados para a composição dos cenários.

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Média
MÉDIA	0,0323	0,0292	0,0484	0,0245	0,0513	0,0292	0,0653	0,0960	0,1355	0,1244	0,0817	0,0927	0,0740	0,0750	0,0617	0,1264	0,0426	0,0700
MEDIANA	0,0329	0,0283	0,0456	0,0239	0,0471	0,0295	0,0571	0,0945	0,1418	0,1240	0,0788	0,0870	0,0638	0,0787	0,0453	0,1324	0,0430	0,0706
MÁXIMO	0,0383	0,0496	0,0668	0,0405	0,0907	0,0356	0,1247	0,1151	0,1578	0,1406	0,1002	0,1366	0,1182	0,1078	0,1191	0,1786	0,0732	0,0840
MÍNIMO	0,0265	0,0161	0,0334	0,0162	0,0211	0,0198	0,0294	0,0831	0,0911	0,1075	0,0701	0,0536	0,0343	0,0355	0,0296	0,0673	0,0216	0,0571
DESVIO PADRÃO	0,0036	0,0103	0,0093	0,0075	0,0265	0,0053	0,0326	0,0128	0,0180	0,0097	0,0106	0,0293	0,0292	0,0280	0,0330	0,0419	0,0132	0,0096

Figura 3-3: Estatísticas descritivas das séries de fatores de emissão para o SIN em kgCO_2eq/KWh

O ano de 2011 foi selecionado para representar uma conjuntura de baixas emissões associadas ao SIN, sendo denominado cenário "Favorável". Por outro lado, o ano de 2014 foi identificado como representativo de uma conjuntura de emissões consideravelmente altas, sendo denominado, portanto, cenário "Crítico". A média dos fatores de emissão mensais para todos os anos do registro existente foi adotada como cenário "Intermediário". O Quadro 3-7 apresenta a composição da matriz de oferta de eletricidade do SIN para os anos de 2011 e 2014. Enquanto o ano de 2011 representa a continuidade da elevada proporção de energia hidráulica operando no SIN observada nos anos anteriores, o ano de 2014 é fortemente marcado pelo baixo regime de chuvas – dando início a um longo período de secas – e o aumento na capacidade instalada a carvão. A maior parcela de fontes térmicas é o que incide diretamente nos fatores de emissão do sistema, dado que energias de fontes hidráulicas, eólica e solar possuem fatores de emissão convencionados em zero.

QUADRO 3-7: MATRIZ DE OFERTA ELÉTRICA DO SIN EM 2011 E 2014

Fonte	2011 (%)*	2014 (%)**
Hidráulica	89,7	71,0
Nacional	82,8	65,2
Importada	6,9	5,8
Térmica	6,7	24,1
Fóssil	4,5	20,1
Renovável	2,2	4,1
Nuclear	3,1	2,7
Eólica	0,5	2,2
Solar	-	0,0019
Total (TWh)	510,2	566,7

Elaboração: Consórcio Engecorps/Moysés & Pires/CERES,2023. Fonte: *(MME, 2012); **(MME, 2015)

Assim, o Quadro 3-8 apresenta os fatores de emissão adotados em cada um dos cenários descritos.

QUADRO 3-8: FATORES DE EMISSÃO ADOTADOS EM CADA CENÁRIO EM kgCO_2eq/kWh

Mês	Favorável	Intermediário	Crítico
Janeiro	0,0262	0,0638	0,0911
Fevereiro	0,0288	0,0613	0,1169
Março	0,0208	0,0580	0,1238
Abril	0,0198	0,0571	0,1310

Mês	Favorável	Intermediário	Crítico
Maio	0,0270	0,0621	0,1422
Junho	0,0341	0,0703	0,1440
Julho	0,0308	0,0713	0,1464
Agosto	0,0301	0,0790	0,1578
Setembro	0,0273	0,0803	0,1431
Outubro	0,0350	0,0840	0,1413
Novembro	0,0356	0,0820	0,1514
Dezembro	0,0349	0,0710	0,1368

Elaboração: Consórcio Engecorps/Moysés & Pires/CERES,2023

O Gráfico 3-1 apresenta a distribuição dos fatores de emissão ao longo de doze meses, destacando-se os anos selecionados como representativos dos cenários adotados. Adicionalmente, foi simulada a aplicação de um quarto cenário, referente ao ano de 2021, que representaria uma maior variabilidade intra-anual dos fatores de emissão, porém foi constatado que esta variação não representava ganhos de intepretação em relação ao cenário "Crítico", sendo assim descartado. A falta de efeito dessa maior variabilidade se deve provavelmente ao perfil de bombeamento do PISF, que demanda vazões maiores nos meses úmidos, período também onde comumente há uma maior oferta de energia hidráulica.

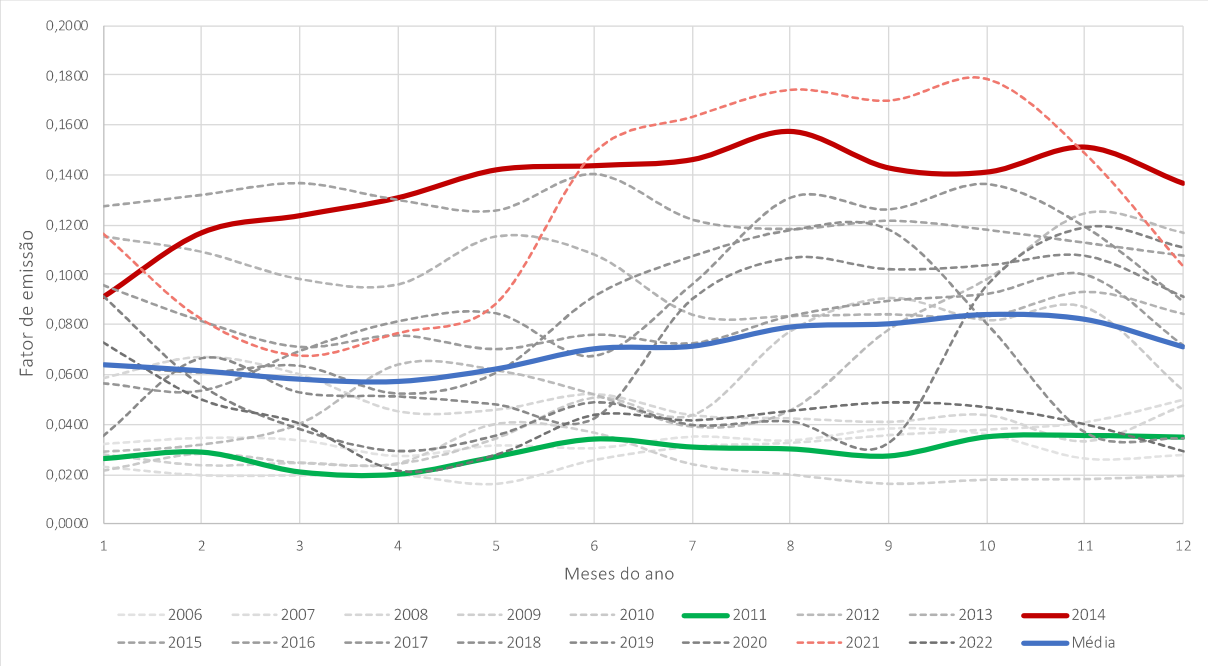


GRÁFICO 3-1: VARIABILIDADE INTRA-ANUAL DAS SÉRIES DE FATORES DE EMISSÃO DO SIN

Fonte: Consórcio Engecorps/Moysés & Pires/CERES,2023

A contribuição de fontes eólicas e fotovoltaicas na Oferta Interna de Energia Elétrica aumentou consideravelmente nos últimos anos. Em 2017 a taxa anual de expansão da energia solar foi de 875,6%, valor que continua aumentando mesmo que em menores proporções, com o ano de 2022 registrando um crescimento de 79,8%, principalmente em sistema de geração distribuída (MME, 2023). Apesar da maior proporção ano a ano dessas fontes na composição da matriz de oferta elétrica do SIN – que no caso da energia eólica saltou de 11,9% em 2021 para 13,3% em 2022, enquanto a energia solar foi de 2,4% para 3,6% no mesmo período (MEE, 2022; MME, 2023) – a configuração da oferta no sistema

interligado ainda é predominantemente hidráulica, que em 2022 contribuiu com 69,3% da energia disponibilizada.

A maior participação das fontes eólica e solar reduziu significativamente a necessidade de fontes térmicas, de forma que mesmo em condições de redução das precipitações, o ano de 2022 registrou fatores de emissão mais próximos do cenário "Favorável", indicando a tendência de aumento de resiliência da matriz brasileira. Entretanto, incertezas associadas aos efeitos da mudança do clima também representam componentes de vulnerabilidade para uma matriz com grande participação de fontes renováveis, dado que implicam uma maior variabilidade de precipitação, temperatura, vento e insolação, além do aumento de potencias danos às infraestruturas por conta da ocorrência aumentada de eventos extremos (MME & EPE, 2020).

Segundo simulações do Plano Nacional de Energia 2050 para projeções de expansão da potência instalada no período, mesmo em um cenário onde fontes geradoras emissoras de GEE não são restringidas, a tendência da matriz elétrica brasileira é de redução acentuada das emissões de CO_2eq, sendo possível inclusive atingir uma matriz 100% renovável. Nesses cenários, que incluem medidas de descarbonização e aceleração da transição energética, um componente de planejamento importante será garantir o abastecimento em um contexto de maior variabilidade climática, como discutido anteriormente. Dessa forma, é entendido que o cenário "Favorável" é o mais alinhado com as tendências observadas para o Brasil, havendo possibilidade de ocorrência de anos ou períodos com perfil mais próximo do cenário "Crítico" em função dos efeitos da mudança do clima.

3.6 CONSIDERAÇÕES SOBRE EMISSÕES DE ESCOPO 3

Emissões de Escopo 3, segundo diretrizes do Programa Brasileiro *GHG Protocol*, incluem emissões indiretas de outras fontes para a além das que consomem energia, abrangidas no Escopo 2, e constituem uma categoria de relato opcional. Algumas atividades contabilizadas no Escopo 3 envolvem, por exemplo: processos de obtenção de matérias-primas empregadas nos processos considerados, porém realizados por terceiros; transporte de colaboradores no percurso de suas residências até o trabalho; disposição de resíduos, e emissões associadas ao consumo dos produtos vendidos pela empresa realizando o inventário, entre outras (FGVces & WRI, 2008). Dessa forma, emissões desse Escopo estão relacionadas principalmente com a cadeia de suprimentos de determinado empreendimento. O consumo de concreto na manutenção não foi considerado relevante para estimativa de emissões.

No caso do PISF, o serviço prestado não envolve o provimento de nenhum produto além da própria água bruta, não havendo, portanto, emissões associadas à aquisição de matérias-primas ou ao ciclo de vida para a provisão de bens de consumo. Assim, assume-se que eventuais emissões de Escopo 3, como as de transporte de empregados ou descarte de resíduos gerados na operação, não representarão um montante relevante em relação às emissões de Escopo 1 e Escopo 2, ou tampouco um fator de risco ou oportunidade de mitigação para o empreendimento durante o período considerado. Por esses motivos, Emissões de Escopo 3 não foram estimadas.

3.7 RESULTADOS

3.7.1 EMISSÕES DE ESCOPO 1

Com base no consumo total de combustível por tipo de veículo e dos fatores de emissão para cada componente do combustível, considerando as proporções assumidas, as emissões de Escopo 1 são calculadas a partir da multiplicação dessas duas variáveis. O Quadro 3-9 apresenta a proporção de combustível fóssil e de biocombustível no consumo total para cada categoria de veículo da frota.

QUADRO 3-9: COMPOSIÇÃO DO CONSUMO POR TIPO DE VEÍCULO (ANO BASE)

Tipo de veículo para composição do FE	Consumo total (litros/ano)	Composição do consumo (litros/ano)	
		Combustível fóssil	Biocombustível
Automóvel Flex à gasolina	110.102,59	80.374,89	29.727,70
Automóvel Flex à etanol	146.803,45	0,00	146.803,45
Motocicleta Flex à gasolina	28.405,62	20.736,10	7.669,52
Motocicleta Flex à etanol	37.874,16	0,00	37.874,16
Veículo comercial leve à Diesel	158.726,99	140.737,93	17.989,06
Caminhão - caminhão (média)	37.774,40	33.493,30	4.281,10

Elaboração: Consórcio Engecorps/Moysés & Pires/CERES,2023

O Quadro 3-10, o Quadro 3-11, o Quadro 3-12 e o Quadro 3-13 apresentam os parâmetros adotados e as emissões calculadas para CO_2 biogênico, CO_2 fóssil, CH_4 e N_2O, respectivamente.

QUADRO 3-10: CÁLCULO DAS EMISSÕES DE CO2 BIOGÊNICO (ANO BASE)

Tipo de veículo para composição do FE	Consumo de biocombustível (litros/ano)	Fator de emissão Kg CO_2 (biogênico)/L	Emissões de CO_2 biogênico (t/ano)
Automóvel Flex à gasolina	29.727,70	1,526	45,36
Automóvel Flex à etanol	146.803,45	1,457	213,89
Motocicleta Flex à gasolina	7.669,52	1,526	11,70
Motocicleta Flex à etanol	37.874,16	1,457	55,18
Veículo comercial leve à Diesel	17.989,06	2,431	43,73
Caminhão - caminhão (média)	4.281,10	2,431	10,41

Elaboração: Consórcio Engecorps/Moysés & Pires/CERES,2023

QUADRO 3-11: CÁLCULO DAS EMISSÕES DE CO2 FÓSSIL (ANO BASE)

Tipo de veículo para composição do FE	Consumo de combustível fóssil (litros/ano)	Fator de emissão Kg CO_2/L	Emissões de CO_2 fóssil (t/ano)
Automóvel Flex à gasolina	80.374,89	2,2120	177,79
Automóvel Flex à etanol	0,00	-	-
Motocicleta Flex à gasolina	20.736,10	2,2120	45,87
Motocicleta Flex à etanol	0,00	-	-
Veículo comercial leve à Diesel	140.737,93	2,6030	366,34
Caminhão - caminhão (média)	33.493,30	2,6030	87,18

Elaboração: Consórcio Engecorps/Moysés & Pires/CERES,2023

QUADRO 3-12: CÁLCULO DAS EMISSÕES DE CH_4 (ANO BASE)

Tipo de veículo para composição do FE	Consumo total (litros/ano)	Fator de emissão Kg CH_4/L	Emissões de CH_4 (t/ano)
Automóvel Flex à gasolina	110.102,59	0,000065	0,007157
Automóvel Flex à etanol	146.803,45	0,000225	0,033031
Motocicleta Flex à gasolina	28.405,62	0,000864	0,024542
Motocicleta Flex à etanol	37.874,16	0,000586	0,022194
Veículo comercial leve à Diesel	158.726,99	0,000197	0,031269
Caminhão - caminhão (média)	37.774,40	0,000139	0,005251

Elaboração: Consórcio Engecorps/Moysés & Pires/CERES,2023

QUADRO 3-13: CÁLCULO DAS EMISSÕES DE N_2O (ANO BASE)

Tipo de veículo para composição do FE	Consumo total (litros/ano)	Fator de emissão Kg N_2O/L	Emissões de N_2O (t/ano)
Automóvel Flex à gasolina	110.102,59	0,000266	0,029287
Automóvel Flex à etanol	146.803,45	0,000173	0,025397
Motocicleta Flex à gasolina	28.405,62	0,000086	0,002443
Motocicleta Flex à etanol	37.874,16	0,000059	0,002235
Veículo comercial leve à Diesel	158.726,99	0,000227	0,036031
Caminhão - caminhão (média)	37.774,40	0,000139	0,005251

Elaboração: Consórcio Engecorps/Moysés & Pires/CERES,2023

O Quadro 3-14 e o Quadro 3-15 apresentam as emissões totais de Escopo 1 para o Ano Base de 2020 nos cenários de uso de gasolina e uso de etanos nos veículos do tipo Flex, respectivamente.

QUADRO 3-14: EMISSÕES TOTAIS PARA O CENÁRIO CONSIDERANDO USO DE GASOLINA NOS VEÍCULOS FLEX (ANO BASE)

Tipo de veículo para composição do FE	Emissões de CO_2 fóssil (t)	Emissões de CH_4 (t)	Emissões de N_2O (t)
Automóvel Flex à gasolina	177,789257	0,007157	0,029287
Motocicleta Flex à gasolina	45,868253	0,024542	0,002443
Veículo comercial leve à Diesel	366,340832	0,031269	0,036031
Caminhão - caminhão (média)	87,183060	0,005251	0,005251
Total cenário gasolina	**677,181409**	**0,068219**	**0,073012**

Elaboração: Consórcio Engecorps/Moysés & Pires/CERES,2023

QUADRO 3-15: EMISSÕES TOTAIS PARA O CENÁRIO CONSIDERANDO USO DE ETANOL NOS VEÍCULOS FLEX (ANO BASE)

Tipo de veículo para composição do FE	Emissões de CO_2 fóssil (t)	Emissões de CH_4 (t)	Emissões de N_2O (t)
Automóvel Flex à etanol	0,000000	0,033031	0,025397
Motocicleta Flex à etanol	0,000000	0,022194	0,002235
Veículo comercial leve à Diesel	366,340832	0,031269	0,036031
Caminhão - caminhão (média)	87,183060	0,005251	0,005251
Total cenário etanol	**453,523892**	**0,091745**	**0,068913**

Elaboração: Consórcio Engecorps/Moysés & Pires/CERES,2023

3.7.2 EMISSÕES DE ESCOPO 2

Com base no cenário base definido para consumo de energia e fatores de emissão, as emissões de Escopo 2 são calculadas a partir da multiplicação dessas duas variáveis. Em um contexto de maior variabilidade climática e, portanto, maior incerteza quanto à operação de sistemas energéticos e de abastecimento de água, a abordagem por cenários "crítico" ou "favorável" de emissões baseados no histórico registrado garante a consideração de mais de uma conjuntura. Emissões de GEE possuem comportamento dinâmico e dependente do contexto imediato, de forma que no caso do PISF, as diferenças de emissão entre um cenário e outro são suficientes para alterar a que tipos de medidas regulatórias o empreendimento poderá estar sujeito ou não.

Como discutido no detalhamento das premissas para a estimativa das emissões de Escopo 2, o cenário base de consumo mensal de energia elétrica corresponde a 55.000MWh a cada mês no período estudado. Com isso considerado, as estimativas de emissão encontradas em cada cenário em $kgCO_2eq/kWh$ para um ano base teria a seguinte variação mensal:

QUADRO 3-16: EMISSÃO MENSAL E ANUAL TÍPICA DE ESCOPO 2 ESTIMADA EM CADA CENÁRIO ($kgCO_2eq$)

Mês	Favorável	Intermediário	Crítico
janeiro	1.441	3.509	5.011
fevereiro	1.584	3.372	6.430
março	1.144	3.190	6.809
abril	1.089	3.141	7.205
maio	1.485	3.416	7.821
junho	1.876	3.867	7.920
julho	1.694	3.922	8.052
agosto	1.656	4.345	8.679
setembro	1.502	4.417	7.871
outubro	1.925	4.620	7.772
novembro	1.958	4.510	8.327
dezembro	1.920	3.905	7.524
TOTAL ANUAL	**19.272**	**46.211**	**89.419**

O Gráfico 3-2 apresenta as contribuições de cada componente do consumo de eletricidade no PISF para as emissões de Escopo 2 a cada mês no Ano Base. Apesar do consumo médio mensal responder pela maior parte da conta de energia do empreendimento, são ainda computados os consumos referentes à demanda constante por energia no Sistema PISF e às perdas nos sistemas de transmissão e distribuição de eletricidade, que representam 5,3% do consumo total em cada mês.

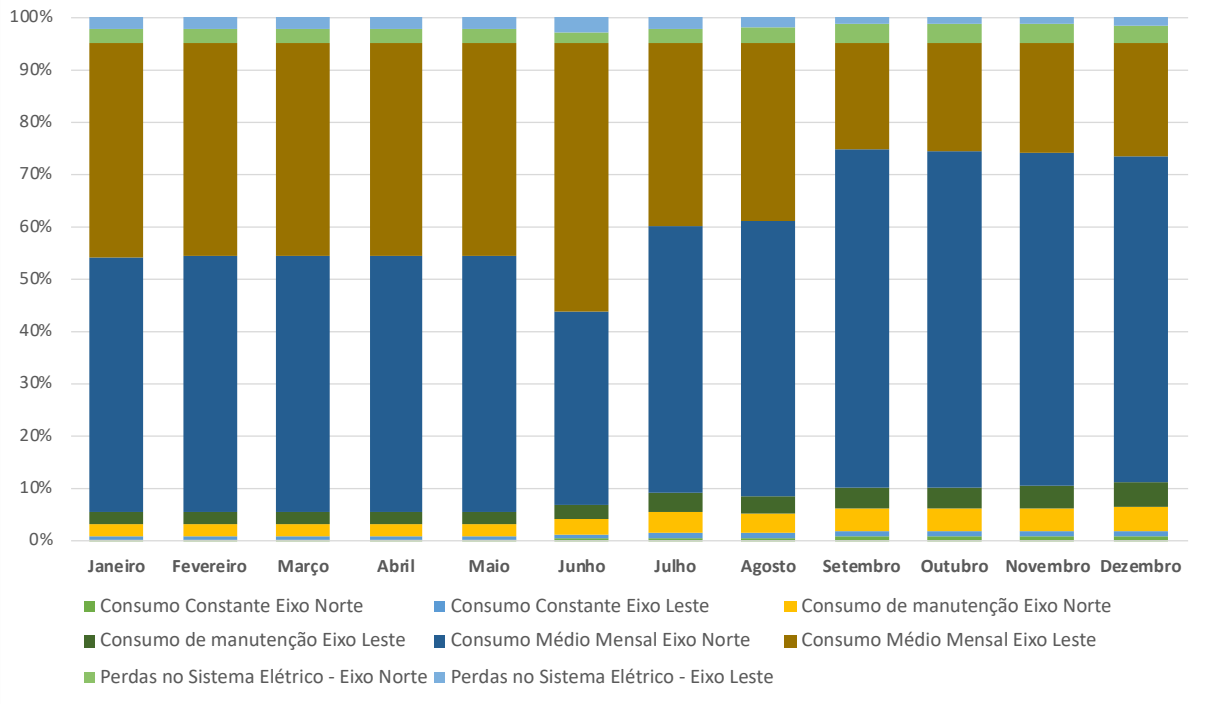


Gráfico 3-2: Contribuição para as emissões do Ano Base das componentes de consumo de energia elétrica no PISF no cenário selecionado (55.000MWh/mês)

3.7.3 INVENTÁRIO DE GASES DE EFEITO ESTUFA PARA O ANO BASE

Abaixo é apresentado o resumo das emissões considerando o exercício de realização do inventário de GEE do PISF para o ano base. Os Quadros estão dispostas em configuração aproximada à proposta pelo Programa Brasileiro GHG *Protocol* para o preenchimento no Registro Público de Emissões (RPE). Para as emissões de Escopo 1 são demonstrados os resultados no cenário de uso exclusivo de gasolina nos veículos Flex, enquanto para o Escopo 2 os valores fazem referência ao cenário base de consumo médio 55.000 MWh/mês. Para o cálculo das emissões em toneladas métricas de CO_2 equivalente, foram adotados os fatores GWP (*Global Warming Potential*) de 28 para o CH_4 e de 265 pata o N_2O. O Quadro 3-17 traz o resumo das emissões totais e, o Quadro 3-18 e o Quadro 3-19**,** as emissões de Escopo 1 e 2 desagregadas por categoria, respectivamente.

QUADRO 3-17: RESUMO DAS EMISSÕES TOTAIS (ANO BASE)

GEE	Toneladas de gás			Toneladas métricas CO_2 equivalente ($tCO_2eq.$)		
	Escopo 1	Escopo 2	Escopo 3	Escopo 1	Escopo 2	Escopo 3
CO_2	677,1814	46.211	-	677,1814	46.211	-
CH_4	0,068219	-	-	1,9101	-	-
N_2O	0,073012	-	-	19,3481	-	-
HFC	-		-	-		-
PFC	-		-	-		-
SF6	-		-	-		-
NF3	-		-	-		-
Total	**677,32**	**46.211**	**-**	**698,44**	**46.211**	**-**

Elaboração: Consórcio Engecorps/Moysés & Pires/CERES,2023

QUADRO 3-18: EMISSÕES TOTAIS DE ESCOPO 1 DESAGREGADAS POR CATEGORIA (ANO BASE)

Categoria	Emissões $tCO_2eq.$	Emissões de CO_2 biogênico	Remoções de CO_2 biogênico
Combustão móvel	698,4397	380,2822	-
Combustão estacionária	-	-	-
Processos industriais	-	-	-
Resíduos sólidos e efluentes líquidos	-		
Fugitivas	-		
Atividades agrícolas	-		
Mudança no uso do solo	-		
Total	698,4397	380,2822	

Elaboração: Consórcio Engecorps/Moysés & Pires/CERES,2023

QUADRO 3-19: EMISSÕES TOTAIS DE ESCOPO 2 PARA A ABORDAGEM BASEADA NA LOCALIZAÇÃO DESAGREGADAS POR CATEGORIA (ANO BASE)

Abordagem baseada na localização	Emissões $tCO_2eq.$	Emissões de CO_2 biogênico	Remoções de CO_2 biogênico
Aquisição de energia elétrica	46.211,00	-	-
Aquisição de energia térmica	-	-	-
Perdas por transmissão e distribuição	2.310,55	-	-
Total	**48.521,55**		

Elaboração: Consórcio Engecorps/Moysés & Pires/CERES,2023

4. ANÁLISE DE RISCOS CLIMÁTICOS: RISCOS DE TRANSIÇÃO E MITIGAÇÃO DA MUDANÇA DO CLIMA

4.1 ABORDAGEM METODOLÓGICA

4.1.1 RECOMENDAÇÕES DO TASK FORCE ON CLIMATE-RELATED FINANCIAL DISCLOSURES

O *Task Force on Climate-related Financial Disclosures* (TFCD), estabelecido em 2015 por atores do setor industrial, tem como objetivo promover decisões de investimento, crédito e subscrição de seguros informadas a respeito da intensidade de carbono de potenciais ativos e a exposição ao risco climático do setor financeiro. Para tanto, o grupo desenvolveu quatro categorias de recomendações para o mapeamento e divulgação de informações financeiras relacionadas ao clima, aplicáveis para diferentes setores como indústrias, bancos, seguradoras, proprietários relacionados ao clima e gestores de ativos (TFCD, 2021). Segundo o TFCD, a avaliação de impactos financeiros dentro de organizações ainda é limitada, faltando clareza e objetividade nas informações disponibilizadas, principalmente por conta do reduzido conhecimento de questões climáticas entre esses atores, a tendência de foco em medidas de curto-prazo e a dificuldade de quantificação de riscos advindos da mudança clima.

Apesar da atual baixa aderência entre organizações, a componente climática tem impactos diretos na avaliação do desempenho financeiro presente e futuro de um empreendimento, influenciando métricas relacionadas a resultados, fluxo de caixa e balanço patrimonial, entre outras (TFCD, 2021). Os efeitos financeiros da mudança do clima em uma organização dependem da exposição desta aos riscos e oportunidades relacionados ao clima, bem como de sua capacidade em antecipar efeitos adversos e planejar medidas de resposta adequadas. Em relação à exposição, devem ser considerados os fatores de vulnerabilidade do empreendimento a partir de duas dimensões de riscos e impactos potenciais: uma associada à transição para uma economia de baixo carbono; e outras aos efeitos físicos da mudança do clima.

O presente capítulo trata da primeira dimensão descrita, denominada Riscos de Transição, enquanto a segunda categoria, denominada Riscos Físicos, será abordada no próximo capítulo. A Figura 4-1 apresenta as recomendações do TFCD, divididas em quatro categorias temáticas relacionadas às estruturas de organizacionais de um empreendimento.



Figura 4-1: Recomendações do TFCD para a divulgação de informações financeiras relacionadas ao clima (Adaptado de TFCD, 2021)

No contexto do presente trabalho, a consideração de riscos de transição, ou seja, associados a medidas de mitigação da mudança do clima, estão situados principalmente na componente de "Estratégia" descrita acima, que tem como foco principal a identificação e análise dos riscos e oportunidades da economia de baixo carbono para uma organização.

4.1.2 ENQUADRAMENTO PARA A CONSIDERAÇÃO DE RISCOS DE TRANSIÇÃO

Seguindo as recomendações do TFCD, o *Cambridge Institute for Sustainability Leadership* elaborou um documento detalhando as etapas para a consideração de Riscos de Transição de investimentos em infraestrutura. Tais riscos poderão se realizar no tempo de forma gradual ou repentina e estão associados a mudanças políticas e regulatórias, potenciais impactos na reputação da organização e introdução de novas tecnologia no mercado, entre outros (CISL, 2019). A estrutura proposta é dividida em três etapas e tem como foco a avaliação de um portifólio de ativos, porém é também adequada para a aplicação no contexto de apenas um empreendimento. A Figura 4-2 a seguir detalha as etapas do enquadramento adotado.

Com o aumento da temperatura global e da mobilização por uma economia de baixo carbono, cresce o potencial de impacto financeiro associado a medidas de transição, bem como os esforços de reconhecimento de riscos e oportunidades entre atores de mercado. Além disso, infraestruturas exercem papel importante na concretização de uma economia menos intensa em carbono, e por isso

podem estar sujeitas a riscos mais elevados. Conforme os efeitos da mudança do clima forem se intensificando, e as metas propostas não estiverem sendo atingidas, estratégias mais agressivas de redução das emissões de gases do efeito estufa serão impostas às atividades emissoras. Assim, diferentes ritmos para a transição da economia podem ser adotados com base nos limites de aumento da temperatura média global estabelecidos pela comunidade científica. Em um cenário de aumento limitado entre 1,5°C e 2°C, são previstas políticas governamentais mais restritivas e onerosas, em conjunto com mudanças tecnológicas mais aceleradas, de forma a alterar os níveis de emissões observados em condições usuais.

Perfil de exposição do empreendimento a riscos e oportunidades: Elaboração da Matriz de Exposição ao Risco de Transição da Infraestrutura	• Definição do escopo: estabelecimento dos limites do empreendimento, definição de cenários e delimitação do período de análise • Identificação dos canais de impacto financeiro: identificação das receitas e fatores de custo podendo ser materialmente impactados pelo risco de transição • Avaliação dos canais de impacto financeiro: identificação das mudanças de trajetória entre um cenário base e um cenário de transição para a economia de baixo carbono • Estimativa de impactos financeiros: classificação do impacto potencial de cada fator no desempenho financeiro do empreendimento
Identificação dos impactos financeiros para o empreendimento: Detalhamento da Matriz de Exposição ao Risco de Transição da Infraestrutura	• Avaliação dos impactos potencialmente associados aos canais de impacto identificados na etapa anterior • Quantificação do impacto sobre os canais de impacto financeiro • Definição dos riscos e oportunidades relacionados ao clima: classificação dos riscos de acordo com seu potencial de gerar impacto financeiro
Modelagem e análise financeira	• Avaliação de materialidade financeira: como a transição para a economia de baixo carbono poderá impactar diferentes métricas financeiras

Figura 4-2 – Etapas para a consideração dos Riscos de Transição em infraestruturas (Elaborado com base em TFCD, 2021)

Com base no contexto de operação do PISF, as etapas descritas foram aplicadas para identificação dos riscos e oportunidades para o empreendimento em uma conjuntura de mitigação das emissões de GEE

em âmbito nacional. Para tanto, foram empregados os resultados de estimativas de emissões do PISF descritos no capítulo anterior deste relatório.

4.2 RESULTADOS

4.2.1 ETAPA 1: MATRIZ DE EXPOSIÇÃO AO RISCO DA INFRAESTRUTURA

Para a elaboração da Matriz de Exposição ao Risco da Infraestrutura foram identificadas duas categorias de riscos e oportunidades, uma relacionada ao mercado e a transições tecnológicas, e outra referente a políticas públicas e medidas regulatórias. Para cada categoria foram detalhados os canais pelos quais os riscos se materializam em impactos financeiros e como estes se traduzem em possíveis fatores de risco e oportunidade no contexto do PISF, apresentados no Quadro 4-1.

QUADRO 4-1: IDENTIFICAÇÃO DOS RISCOS DE TRANSIÇÃO, CANAIS DE IMPACTOS FINANCEIROS E POSSÍVEIS MEDIDAS APLICÁVEIS NO CONTEXTO DO PISF

Categoria		Canais de impactos financeiros	Fatores de risco e oportunidade
Mercado e transições tecnológicas	Aumento da procura por produtos e serviços energeticamente eficientes e com baixo teor de carbono	Custos relacionados com aquisição e operação de equipamentos (por exemplo, tecnologias de redução de emissões, entre outras)	Aumento da eficiência energética nos serviços de operação e manutenção
	Novas tecnologias que alteram a dinâmica dos mercados		Instalação de placas para geração de energia fotovoltaica nas estruturas de adução de água bruta para autoprodução de energia elétrica
Políticas públicas e medidas regulatórias	Aumento nos custos internos/operacionais para atividades com emissões elevadas de carbono	Custos regulatórios e de conformidade (por exemplo, monitoramento de emissões, precificação de carbono, entre outras)	Cobrança de uma taxa de carbono
	Ameaças à obtenção de licença de operação para atividades com emissões elevadas de carbono		Busca por adequação do empreendimento junto aos órgãos reguladores; obtenção de renovação de licença de operação

Elaboração: Consórcio Engecorps/Moysés & Pires/CERES,2023

A partir dos canais de impactos financeiros e dos fatores de risco e oportunidade identificados no contexto do PISF, foram apontados os componentes financeiros potencialmente impactados por cada intervenção prevista, conforme apesentado no Quadro 4-2.

QUADRO 4-2: COMPONENTES FINANCEIROS IMPACTADOS PELAS MEDIDAS IDENTIFICADAS.

Fatores de riscos e oportunidades	Componentes financeiros impactados
Aumento da eficiência energética nos serviços de operação e manutenção	Capex; Opex
Autoprodução de energia fotovoltaica	Capex; Opex
Taxa de carbono	Opex

Fatores de riscos e oportunidades	Componentes financeiros impactados
Adequação do empreendimento junto aos órgãos reguladores	Opex

Elaboração: Consórcio Engecorps/Moysés & Pires/CERES,2023

Os riscos e oportunidades para o empreendimento associados à transição para uma economia de baixo carbono estarão relacionados aos cenários considerados para essa transição. A *International Energy Agency* adota três cenários para a modelagem de possíveis conjunturas de transição energética, aplicando um Modelo Global de Energia e Clima (*Global Energy and Climate Model* – em inglês) para o estudo das projeções energéticas mundiais e efeitos nas concentrações de GEE. Assim, são consideradas como variáveis que incluem as capacidades de produção de energia, tendências tecnológicas de médio e longo prazo, estratégias políticas dos entes nacionais e características previstas para investimentos no setor energético, viabilizam ou não o atendimento das metas climáticas em nível global (IEA, 2022). Os cenários disponibilizados pelo IEA estão entre as ferramentas mais reconhecidas e utilizadas globalmente para a consideração da transição para uma economia de baixo carbono (TFCD, 2017). O Quadro 4-3 apresenta uma descrição dos três cenários adotados para as modelagens.

QUADRO 4-3: DESCRIÇÃO DOS CENÁRIOS ADOTADOS PELA INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (ADAPTADO DE IEA, 2022)

Emissões Zero em 2050	Compromissos anunciados	Políticas públicas em curso
Estabelece um caminho para o setor energético global atingir zero emissões líquidas de CO_2 até 2050. Não depende de reduções de emissões externas ao setor energético para atingir seus objetivos. Acesso universal à eletricidade serão alcançados até 2030.	Pressupõe que todos os compromissos climáticos assumidos pelos governos de todo o mundo, incluindo as Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC) e as metas "zero- líquido" (*net-zero*) a longo prazo, bem como as metas de acesso à eletricidade, serão cumpridas na íntegra e a tempo.	Reflete as atuais configurações políticas com base numa avaliação setor a setor e país a país das políticas específicas em vigor, bem como daquelas que foram anunciadas pelos governos de todo o mundo.

Elaboração: Consórcio Engecorps/Moysés & Pires/CERES,2023

As características de cada cenário irão definir como as mudanças associadas à transição da economia se desenvolvem no tempo, influenciando a velocidade e magnitude com que novos comportamentos são incorporados aos esforços de mitigação da mudança do clima. No presente trabalho, tais cenários servem de referencial para a definição de conjunturas adaptadas ao contexto em análise. Assim, a narrativa que acompanha os cenários acima descritos foi adotada para representar três situações de interesse, de forma que para cada uma são definidos ritmos específicos de realização dos fatores de riscos e oportunidades para o empreendimento no horizonte temporal considerado, representados no Quadro 4-4[6].

[6] *A exemplo da implantação do sistema de energia fotovoltaica, que pode ocorrer progressivamente ao longo das décadas ("Progressivo" ou "Estagnado") ou em sua capacidade total desde o início do período ("Acelerado").*

QUADRO 4-4: RITMO E TENDÊNCIA TEMPORAL DEFINIDAS PARA OS CENÁRIOS DE TRANSIÇÃO DA ECONOMIA

Cenário	Ritmo de realização	Tendência			
		2030	2040	2050	2060
Emissões Zero em 2050	Acelerado	100%	100%	100%	100%
Compromissos anunciados	Progressivo	25%	50%	75%	100%
Políticas públicas em curso	Estagnado	-	25%	50%	75%

Elaboração: Consórcio Engecorps/Moysés & Pires/CERES,2023.

Enquanto o cenário "Emissões Zero em 2050" é normativo, ou seja, é pensado com o objetivo de planejamento para um futuro almejado, os cenários "Compromissos anunciados" e "Políticas públicas em curso" são exploratórios, o que significa que são empregados para o estudo e comparação de diferentes futuros possíveis. As premissas assumidas no cenário "Emissões Zero em 2050" são consistentes com um aumento de 1,5°C na temperatura global - o que se alinha ao Acordo de Paris - , de forma que os outros dois cenários implicam em aumentos mais significativos. O cenário "Políticas públicas em curso" é o que resulta em maiores acréscimos de temperatura, embora também resulte, mesmo que tardiamente, em transição da economia. Para a elaboração da Matriz de Exposição ao Risco da Infraestrutura, a tendência de riscos e oportunidades no horizonte considerado é avaliada a partir da diferença de impactos financeiros prevista entre um cenário base e um cenário de transição energética.

No contexto do presente trabalho, o cenário "Políticas públicas em curso" foi assumido como representativo da conjuntura de políticas climáticas atualmente vigentes no Brasil – incluindo lacunas em relação às metas estabelecidas – e estabelecido como cenário base para comparação com os outros dois cenários descritos. Por outro lado, o cenário "Compromissos anunciados" se aproxima das políticas entendidas como necessárias para o alcance de metas internacionalmente acordadas, porém a partir de características específicas da economia brasileira. Por fim, o cenário "Emissões Zero em 2050" adota parâmetros similares aos estabelecidos pelo IEA, simulando uma conjuntura de políticas mais ousadas para a redução das emissões globais de GEE.

Para a classificação dos impactos potenciais associados aos fatores de risco e oportunidade identificados para o empreendimento, é adotada a classificação apresentada no Quadro 4-5.

QUADRO 4-5: CLASSIFICAÇÃO DO RISCO E OPORTUNIDADE DO EMPREENDIMENTO (ELABORADO COM BASE EM TCFD, 2021)

		Impacto do fator de risco no desempenho financeiro do empreendimento		
		Alto	**Médio**	**Baixo**
Impacto do cenário no fator de risco identificado	**Negativo Alto**	Risco Alto	Risco Alto	Risco Médio
	Negativo Médio	Risco Alto	Risco Médio	Risco Baixo
	Negativo Baixo	Risco Médio	Risco Médio	Risco Baixo
	Mínimo	Risco Mínimo	Risco Mínimo	Risco Mínimo
	Positivo Alto	Oportunidade Alta	Oportunidade Alta	Oportunidade Média
	Positivo Médio	Oportunidade Alta	Oportunidade Média	Oportunidade Baixa
	Positivo Baixo	Oportunidade Média	Oportunidade Média	Oportunidade Baixa
		Classificação do risco/oportunidade		

Elaboração: Consórcio Engecorps/Moysés & Pires/CERES,2023

Com base na escala de risco e oportunidade definida, foram atribuídas tendências temporais de impacto financeiro potencial, de forma que no cenário “Emissões Zero em 2050”, tanto os riscos quanto as oportunidades são elevadas já em 2030, enquanto no cenário “Compromissos anunciados” ambos se estabelecem de forma mais progressiva. O Quadro 4-6 traz a Matriz de Exposição ao Risco elaborada para o contexto do PISF.

QUADRO 4-6: MATRIZ DE EXPOSIÇÃO A RISCOS DE TRANSIÇÃO NO CONTEXTO DO PISF

Categoria	Fatores de riscos e oportunidades	Componentes financeiros impactados	Descrição	Cenário	Tendência			
					2030	2040	2050	2060
Mercado e transições tecnológicas	Aumento da eficiência energética dos serviços de O&M	Capex; Opex	O aumento da eficiência no uso de energia resulta em redução nas emissões de Escopo 1 e um menor consumo de eletricidade, reduzindo emissões de Escopo 2.	CA				
				EZ				
	Instalação de placas para geração de energia fotovoltaica nas estruturas de adução de água bruta para autoprodução de energia elétrica	Capex; Opex	Com a autoprodução de energia solar nas dependências do PISF, em capacidade suficiente para atender à demanda de energia a cada momento, notadamente nas décadas até 2050 e 2060, as emissões de Escopo 2 se reduziriam consideravelmente, restando apenas as emissões associadas às perdas de transmissão e distribuição de energia.	CA				
				EZ				
Políticas públicas e medidas regulatórias	Cobrança de uma taxa de carbono	Opex	Por meio da precificação do carbono, custos ambientais associados à mudança do clima têm seus impactos traduzidos em compensações monetárias. Assim, ocorre a aplicação de uma taxa, estabelecida em R$ por toneladas de CO_2eq., como mecanismo para redução das emissões e dos impactos associados.	CA				
				EZ				
	Busca por adequação do empreendimento junto aos órgãos reguladores; obtenção de nova licença de operação	Opex	Medida possível de ser implementada para acelerar a transição para uma economia de baixo carbono pelo impedimento da operação de empreendimentos com emissões elevadas de GEE, de forma que seriam estabelecidas novas adequações pelas autoridades necessárias para manter a licença de operação do empreendimento.	CA				
				EZ				

Legenda

CA – Compromissos Assumidos **EZ** – Emissões Zero em 2050

Risco Alto | Risco Médio | Risco Baixo | Risco Mínimo | Oportunidade Alta | Oportunidade Média | Oportunidade Baixa

Elaboração: Consórcio Engecorps/Moysés & Pires/CERES,2023

O quadro apresenta a matriz de exposição ao risco elaborada de acordo com a metodologia aposta e nos itens anteriores. De acordo com o que está exposto, tem-se os seguintes resultados:

Detalhamento de Impactos Potenciais: Mercado e Transições Tecnológicas

- Aumento da eficiência energética dos serviços O&M
    - O aumento da eficiência no uso de energia resulta em redução nas emissões de Escopo 1 e um menor consumo de eletricidade, reduzindo emissões de Escopo 2;
    - Tendência para os cenários de Compromisso Assumido (CA) e Emissões Zero (EZ):
        - 2030 Oportunidade Média
        - 2040: Oportunidade Média
        - 2050: Oportunidade Alta
        - 2060: Oportunidade Alta

Detalhamento de Impactos Potenciais: Mercado e Transições Tecnológicas

- Autoprodução de energia fotovoltaica
    - Com a autoprodução de energia solar nas dependências do PISF, em capacidade suficiente para atender à demanda de energia a cada momento, notadamente nas décadas até 2050 e 2060, as emissões de Escopo 2 se reduziriam consideravelmente, restando apenas as emissões associadas às perdas de transmissão e distribuição de energia;
    - Tendência para os cenários de Compromisso Assumido (CA) e Emissões Zero (EZ):
        - 2030: Oportunidade Baixa
        - 2040: Oportunidade Baixa
        - 2050: Oportunidade Alta
        - 2060: Oportunidade Alta

Detalhamento de Impactos Potenciais: Políticas Públicas e Medidas Regulatórias

- Taxa de Carbono
    - Por meio da precificação do carbono, custos ambientais associados à mudança do clima têm seus impactos traduzidos em compensações monetárias. Assim, ocorre a aplicação de uma taxa, estabelecida em R$ por toneladas de CO2eq., como mecanismo para redução das emissões e dos impactos associados.
    - Tendência para o cenário de Compromisso Assumido (CA)
        - 2030: Risco Baixo
        - 2040: Risco Baixo
        - 2050: Risco Médio
        - 2060: Risco Médio
    - Tendência para o cenário de Emissões Zero (EZ)
        - 2030: Risco Alto
        - 2040: Risco Alto

- 2050: Risco Alto
- 2060: Risco Alto

Detalhamento de Impactos Potenciais: Políticas Públicas e Medidas Regulatórias

- Busca por adequação do empreendimento junto aos órgãos reguladores; obtenção de nova licença de operação
    - Medida possível de ser implementada para acelerar a transição para uma economia de baixo carbono pelo impedimento da operação de empreendimentos com emissões elevadas de GEE, de forma que seriam estabelecidas novas adequações pelas autoridades necessárias para manter a licença de operação do empreendimento.
    - Tendência para o cenário de Compromisso Assumido (CA)
        - 2030: Risco Mínimo
        - 2040: Risco Mínimo
        - 2050: Risco Mínimo
        - 2060: Risco Baixo
    - Tendência para o cenário de Emissões Zero (EZ)
        - 2030: Risco Mínimo
        - 2040: Risco Mínimo
        - 2050: Risco Baixo
        - 2060: Risco Baixo

4.2.2 ETAPA 2: DETALHAMENTO DE IMPACTOS POTENCIAIS

Nessa seção são discutidas as premissas adotadas para avaliação dos riscos e oportunidades do empreendimento, importantes para o detalhamento da Matriz de Exposição a Riscos de Transição e condução da etapa de modelagem financeira.

Dos quatro fatores de riscos e oportunidades, aquele relacionado à necessidade de adequação do empreendimento e à obtenção de nova licença de operação não é considerado nas etapas seguintes. Isso se deve ao fato de que, mesmo em contextos de transição energética e aumento da regulação das atividades emissoras, avaliou-se que até 2060 deverá haver um risco mínimo abaixo quanto a esse aspecto, sobretudo pelo fato de o PISF ser uma infraestrutura pública implantada para desempenhar um papel crucial na segurança hídrica, especialmente de demandas prioritárias, em uma região historicamente afetada pela escassez de água. Isso deve fazer com que seja pouco provável que questões de conformidade com a transição para uma sociedade de baixo carbono resultem em medidas impeditivas por parte dos órgãos licenciadores.

Os demais fatores são abaixo detalhados, sendo que a ênfase da modelagem é no impacto potencial decorrente - independentemente de ser positivo ou negativo quando se consideram suas repercussões globais no balanço das despesas e das receitas.

4.2.2.1 AUMENTO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NOS SERVIÇOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

Em que pese o recente investimento na interligação dos últimos trechos e estruturas até então ainda não alimentadas pelas linhas de distribuição de energia elétrica nem integradas ao Sistema Digital de Supervisão e Controle (SDSC), como foi o caso das estruturas de controle e TUD no Trecho II do Eixo Norte, a distribuição de energia em média e baixa tensão pode ser uma área de oportunidade de corte de gastos evitáveis a médio prazo.

Essas instalações demandam um alto investimento de instalação de rede de distribuição a partir das subestações do PISF, cuja configuração espacial resulta em longas linhas de distribuição que acarretam perdas de energia que poderiam ser evitadas se essas estruturas operassem com suprimento de energia independente. Assim, em um próximo ciclo de reinvestimento visando a reposição de infraestrutura de distribuição de energia elétrica para essas estruturas difusas ao longo dos eixos, poderia ser considerada a sua substituição paulatina por microgeração distribuída de energia elétrica a partir de fonte fotovoltaica. Essas instalações de microgeração poderiam ser locadas junto às estruturas às quais dariam serviço (estrutura de controle, por exemplo) e monitorada a distância por radiofrequência. Na estimativa atual de consumo médio mensal considerada no Tomo V, esses consumos constantes difusos no Sistema PISF (Eixos Leste e Norte e Ramal do Apodi) poderiam remontar a aproximadamente 2.700 MWh em média por mês, representando uns 5% da conta de energia elétrica do Sistema PISF. No mesmo Tomo V é considerado no custo de O&M os gastos com segurança patrimonial e monitoramento integrado que deverão zelar pela integridade dessa infraestrutura inclusive.

Outra oportunidade de redução de custos evitáveis de Operação e Manutenção (O&M) está no transporte cotidiano de técnicos em vistoria das estruturas lineares de cada eixo. No pré-dimensionamento de custos de operação e manutenção apresentados no Tomo V e mencionados neste tomo no capítulo anterior, tratou-se da previsão de consumo de combustível para essas atividades no Ano Base, estimando seus impactos relevantes de geração de gases de efeito estufa de Escopo 1. Caso se adote a vistoria cotidiana das estruturas por meio de drones com videocâmara embarcada como continuidade ao cenário onde esta atividade é feita por veículo a combustão (automóvel ou motocicleta), em pelo menos uma das quatro semanas de um mês típico, os gastos com deslocamento do técnico poderiam ser substituídos por consumo apenas levemente superior de energia elétrica. Para efeito dessa estimativa de acréscimo de consumo, poderia ser considerada uma redução da ordem de pelo menos 25% daquelas emissões de GEE, realocando-se as horas dos veículos a combustão substituídos pelo drones para o transporte de funcionários entre postos de trabalho (além do maquinário empregado em serviços de reparos e manutenção que não foram computados nas emissões do Escopo 1 apresentadas no capítulo anterior).

Em outras palavras, a frota de veículos seria praticamente a mesma em ambos os cenários, ao passo que o consumo de combustível variaria para muito abaixo da média no cenário com emprego de drones elétricos. As horas totais de circulação dos veículos diminuiria a cada ano, o que também significaria alguma preservação do veículo a longo prazo, estendendo sua vida útil e reduzindo investimentos futuros. Reforça-se aqui que esta análise contempla o cenário base com veículos a gasolina em atividades de vistoria operacional.

Com isso, o quadro de emissões totais de Escopo 1 apresentado anteriormente no item poderia ser revisado para menos, resultando em reduções de 8,3% totais, como demonstrado no quadro a seguir.

QUADRO 4-7: RESUMO DAS EMISSÕES TOTAIS MINORADAS (ANO BASE)

GEE	Toneladas de gás			Toneladas métricas CO2 equivalente ($tCO_2eq.$)		
	Escopo 1	Escopo 2	Escopo 3	Escopo 1	Escopo 2	Escopo 3
CO^2	621,2670	46.211	-	621,2670	46.211	-
CH_4	0,060294	-	-	1,6882	-	-
N^2O	0,065079	-	-	17,2460	-	-
HFC	-		-	-		-
PFC	-		-	-		-
SF6	-		-	-		-
NF3	-		-	-		-
Total				**640,2013**	46.211	-

Esses valores são calculados segundo a memória descrita a seguir, em que se pode verificar que, para cada 5% de redução de consumo de combustíveis fósseis (gasolina), reduz-se 1,66% de emissões de CO_2, e uma redução de 25% no consumo representaria uma redução de 8,3% nas emissões.

Tome-se a frota pré-definida de automóveis movidos a combustão de gasolina com consumo anual da ordem de 80 mil litros de combustível fóssil (conforme tratado no Tomo V). Considerando-se um fator de emissão do combustível fóssil de 2,21 kg CO_2 por litro, obtém-se uma emissão equivalente de CO_2 fóssil de 178 toneladas. No mesmo sentido, considerando-se fator de emissão de CH_4 por litro de 0,000065 kg e 0,000266 kg de N_2O, obtêm-se as emissões equivalentes de 0,2 e 7,76 toneladas, respectivamente. Logo, à frota de automóveis movidos a gasolina poderia ser atribuída a emissão equivalente a 186 toneladas por ano, em média.

Da mesma forma, aplica-se esse racional para a frota de motocicletas movidas a gasolina, cujo consumo anual é estimado em 20 mil litros. Tem-se, portanto, a emissão de 45,87 toneladas de CO_2, 0,69t de CH_4 e 0,65 de N_2O, totalizando 47 toneladas de emissões equivalentes de CO_2. Em conjunto, os automóveis e motocicletas movidos a gasolina seriam responsáveis pela emissão de 233 toneladas de CO_2e. Considerando-se o restante da frota de veículos movidos a diesel, esse montante representaria 33% das emissões de CO2e por veículos em atividades operacionais.

Veja-se quadro a seguir com essa informação tabelada.

QUADRO 4-8: CÁLCULO DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL FÓSSIL EM ATIVIDADES OPERACIONAIS

	Toneladas de gás				Emissões em CO2e			
Combustível Fóssil	CO2 Fóssil	CH4	N2O	Total	CO2 Fóssil	CH4	N2O	Total
Automóvel flex a gasolina	177,79	0,01	0,03	177,83	177,79	0,20	7,76	185,75
Motocicleta flex a gasolina	45,87	0,02	0,00	45,90	45,87	0,69	0,65	47,20
Veículo comercial leve a Diesel	366,34	0,03	0,04	366,41	366,34	0,84	10,60	377,78
Caminhão - caminhão (média)	87,18	0,01	0,01	87,19	87,18	0,15	1,39	88,72

Total	677,18	0,07	0,07	677,32	677,18	1,87	20,40	**699,46**

Logo, se admitida uma redução de 5% nos consumos de combustível daqueles veículos movidos a gasolina (automóveis e motocicletas), a redução geral das emissões seria da ordem de 1,69%, como demonstrado no quadro a seguir.

QUADRO 4-9: SIMULAÇÃO DE REDUÇÃO NO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL FÓSSIL EM ATIVIDADES OPERACIONAIS (FAIXA DE 5%)

	Toneladas de gás				Emissões em CO2e			
Combustível Fóssil	CO2 Fóssil	CH4	N2O	Total	CO2 Fóssil	CH4	N2O	Total
Automóvel flex a gasolina	168,75	0,01	0,03	168,78	168,75	0,19	7,36	176,30
Motocicleta flex a gasolina	43,54	0,02	0,00	43,56	43,54	0,65	0,65	44,84
Veículo comercial leve a Diesel	366,34	0,03	0,04	366,41	366,34	0,84	10,60	377,78
Caminhão - caminhão (média)	87,18	0,01	0,01	87,19	87,18	0,15	1,39	88,72
Total	665,81	0,07	0,08	665,95	665,81	1,83	20,00	**687,64**

O mesmo exercício se confirma ao simular reduções incrementais no consumo de 5 em 5%, observando-se redução nas emissões totais de 1,66% a cada redução proporcional de 5%. E se, por fim, admitirmos um teto para essa redução de consumo de combustível fóssil estimado em 25%, o efeito de redução nas emissões totais seria de 8,3%. Esse valor de 25% de redução no consumo é considerado teto em função das atividades que se estimam como passíveis de substituição do emprego de veículos movidos a combustível fóssil por drones elétricos. Tal valor deve-se à consideração que, em um mês típico de 4 semanas, seria possível considerar que as rondas de vistoria da infraestrutura em veículo movido a combustível fóssil poderiam ser substituídas em pelo menos uma delas por voos de drones elétricos.

4.2.2.2 AUTOPRODUÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA

Para a estimativa dos impactos financeiros da autoprodução de energia fotovoltaica, pressupõe-se que os compromissos de redução de GEE resultem na obrigatoriedade de se mitigar totalmente as emissões, respeitando-se os diferentes ritmos e tendências temporais definidas para os cenários de transição da economia. Para tanto, foram estimados os custos de instalação e de operação de autoprodução de energia fotovoltaica, com foco no período das décadas de 2040-2050 e 2050-2060.

Isto porque, até 2042, durante a vigência do Contrato CHESF, há garantia de fornecimento de 85 MW médios ao ano, ao preço de R$ 80,00/MWh (data-base 01/01/2022), o que significa um montante bastante relevante de energia a um preço baixo, não havendo razão, *a priori*, para a implantação de parque fotovoltaico para bombeamento de água bruta para os Estados. Ademais, a energia da matriz elétrica brasileira, na qual a CHESF se insere e se sobressai, é, em grande medida, de origem de fontes renováveis.

O Relatório de Avaliação Econômico-financeira elaborado pelo Consórcio em 2019, quando dos estudos iniciais, havia considerado a implementação de painéis solares no entorno dos canais e no interior dos reservatórios dos sistemas de adução de água bruta, e aqui foram adotadas as mesmas premissas e resultados, com as atualizações descritas doravante. O estudo para instalação de energia fotovoltaica considerou que a capacidade instalada para autoprodução seria de 224,2 MW. O CAPEX foi estimado em R$3,015 milhões/MW e o OPEX em R$74,98 mil/MW, ambos com data base em outubro de 2018 (Consórcio, 2019).

É reconhecido que os custos com energia fotovoltaica podem sofrer reduções ao longo do horizonte do projeto em função de avanços tecnológicos. Tais variáveis, no entanto, não foram incluídas na modelagem financeira. Para o cenário "Compromissos Anunciados", foi simulada a instalação dos sistemas de geração solar após 2042, quando vier a termo o contrato vigente de fornecimento de energia com a CHESF. No cenário "Emissões Zero em 2050", foi considerada a instalação da capacidade total de energia fotovoltaica prevista já em 2030, representando uma conjuntura em que o excedente de eletricidade poderia ser vendido para a rede, contribuindo para a aceleração da transição energética em âmbito nacional. Além disso, a venda de energia também traria economia na operação, principalmente no período da década de 2040 em diante, uma vez que é possível obter valores de rentabilidade em torno de 1,5% a 3,5% ao mês. Esse retorno de capital, no entanto, não foi considerado na modelagem financeira em função da alta variabilidade inerente ao comércio de energia.

4.2.2.3 TAXA DE CARBONO

Um dos componentes frequentemente discutidos para a consolidação de uma economia de baixo carbono é a precificação das emissões de GEE, incluindo suas duas principais vertentes: a taxação sobre carbono (*carbono tax*) e o mercado de comércio de emissões (*cap and trade*) (Instituto Escolhas, 2016). Enquanto a primeira estabelece um preço fixo a ser pago por tonelada de CO_2eq emitida, a segundo distribui cotas de emissão por setor com o objetivo de reduzir as emissões de GEE do país, de forma que as empresas que não atingiram os limites determinados, podem comercializar suas permissões para outras que se encontram acima desse limite.

Apesar do Projeto de Lei Nº 412, de 2022, que Institui o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE), ter sido aprovado pelo Senado em outubro de 2023 (Brasil, 2023) e seguindo para apreciação da Câmara, os riscos associados a esse tipo de regulamentação não foram considerados no presente trabalho dada a complexidade e incertezas associadas ao estabelecimento de um mercado de carbono no país e a impossibilidade de estimar potenciais impactos financeiros no contexto de emissões do PISF.

A taxação sobre carbono, por outro lado, pode ser estimada por meio da aplicação de um valor hipotético, proporcional às emissões do empreendimento, e que represente "o valor presente dos danos ambientais estimados ao longo do tempo causados por uma tonelada adicional de CO_2eq" (Campoli & Feijó, 2022 p. 23). Os valores adotados variam de acordo com os cenários de políticas climáticas anteriormente descritos. Para o cenário "Compromissos Anunciados", foram empregadas as estimativas para o preço do carbono no contexto brasileiro obtidas por Campoli & Feijó (2022),

apresentadas no Quadro 4-10. No cenário “Emissões Zero em 2050”, foram aplicados os valores disponibilizados pela IEA, de forma a representar uma conjuntura limite e alinhada com discussões em âmbito internacional, apresentados no Quadro 4-11. Ressalta-se que o preço do carbono adotado no cenário “Emissões Zero em 2050” é estimado com base em mercados emergentes e economias em desenvolvimento com metas de emissões líquidas zero, que além do Brasil, incluem China, Índia, Indonésia e África do Sul (IEA, 2022).

Para a conversão dos valores em Reais foi aplicada a taxa de câmbio média do ano base de cada conjunto de dados disponibilizada pelo Ipea[7].

[7] Disponível em: http://www.ipeadata.gov.br/ExibeSerie.aspx?serid=31924

QUADRO 4-10: TAXA DE CARBONO ADOTADO NO CENÁRIO "COMPROMISSOS ANUNCIADOS" (ELABORADO COM BASE EM CAMPOLI & FEIJÓ, 2022)

Horizonte	USD (2020) por tonelada de CO_2	R$ (2020) por tonelada de CO_2
2030	14,29	73,68
2040	16,42	84,66
2050	18,29	94,30
2060	18,29	94,30

Elaboração: Consórcio Engecorps/Moysés & Pires/CERES,2023

QUADRO 4-11: TAXA DE CARBONO ADOTADO NO CENÁRIO "EMISSÕES ZERO EM 2050" (ELABORADO COM BASE EM IEA, 2022)

Horizonte	USD (2021) por tonelada de CO_2	R$ (2020) por tonelada de CO_2
2030	90	485,55
2040	160	863,20
2050	200	1079,00
2060	200	1079,00

Elaboração: Consórcio Engecorps/Moysés & Pires/CERES,2023

Por fim, para o cálculo da taxa de carbono aplicada em cada ano, foram consideradas a emissões nos cenários "Favorável" e "Intermediário", para as emissões de Escopo 2, somadas às emissões de Escopo 1, quando considerado o uso exclusivo de gasolina nos veículos do tipo Flex, de acordo com as considerações feitas no capítulo anterior.

4.2.2.4 DETALHAMENTO DA MATRIZ DE EXPOSIÇÃO À RISCOS DE TRANSIÇÃO

A partir das considerações dos itens acima, é feito o detalhamento da Matriz de Exposição à Riscos de Transição, apresentado no Quadro 4-12.

QUADRO 4-12: DETALHAMENTO DA MATRIZ DE EXPOSIÇÃO À RISCOS DE TRANSIÇÃO NO CONTEXTO DO PISF

Categoria	Fatores de riscos e oportunidades	Canais de impacto financeiro	Metodologia	Cenário		Tendência 2030	2040	2050	2060
Mercado e transições tecnológicas	Aumento da eficiência energética dos serviços de O&M	Progressiva substituição de equipamentos permanentes (redução de veículos e aquisição de drones) e redução no custo de combustível	Cálculo de redução proporcional de emissão de gases de efeito estufa	Adoção de novas tecnologias para a substituição de processos recorrentes, mantendo a eficiência e nível de serviço ao passo que reduzindo emissões de gases efeito estufa	CA				
					EZ				
	Autoprodução de energia fotovoltaica	Investimento na instalação dos sistemas de geração de energia solar; operação e manutenção dos equipamentos	Parâmetros adotados com base em análise conduzida por Consórcio. Estimativa de capacidade instalada para autoprodução e custos de investimento e operação estabelecidos em R$/MW.	Início da operação após o término da vigência do Contrato CHESF (pós-2042).	CA	N/A			
					EZ	N/A			
Políticas públicas e medidas regulatórias	Taxa de carbono	Custos com a aplicação de uma taxa sobre emissões de carbono em R$ por tonelada de CO_2eq. emitida	Empregadas as estimativas para o preço do carbono no contexto brasileiro obtidas por Campoli & Feijó (2022) no cenário CA e por IEA (2022) no cenário EZ.	No cenário CA são assumidos valores calculados considerando parâmetros da economia brasileira, simulando possíveis tendências de mitigação na conjuntura nacional. No cenário EZ, valores estimados em âmbito internacional delimitam um cenário mais agressivo de políticas climáticas.	CA				
					EZ				

Legenda

CA – Compromissos Assumidos **EZ** – Emissões Zero em 2050

Risco Alto | Risco Médio | Risco Baixo | Risco Mínimo | Oportunidade Alta | Oportunidade Média | Oportunidade Baixa

Elaboração: Consórcio Engecorps/Moysés & Pires/CERES,2023

4.2.3 ETAPA 3: ESTIMATIVA FINANCEIRA

Os dados abaixo apresentam os resultados para os três fatores de risco e oportunidades identificados no contexto do PISF. Os valores obtidos representam apenas estimativas de caráter exploratório e com o objetivo primeiro de indicar caminhos para o planejamento resiliente da infraestrutura. Diversos fatores não considerados irão afetar a forma como os riscos e oportunidades identificados irão se concretizar ou não no horizonte do projeto. Reforça-se que a ênfase é no impacto potencial decorrente, e não em uma avaliação da viabilidade ou não de se adotar uma ou outra medida.

No cenário de Compromissos Assumidos, a implantação da solução de autogeração de energia fotovoltaica se daria após 2042, quando cessasse o contrato vigente com a CHESF. Nesse cenário, a contribuição desse projeto associado poderia se dar tanto no abatimento do custo de energia que tende a crescer significativamente após o término do contrato vigente com a CHESF, em média de 76% no consumo médio medido em MWh, ou mesmo na ocasião de renovação do contrato de fornecimento com a CHESF em condições favoráveis, ao aportar receita acessória potencial de 11,5 milhões de reais (conforme valores estimados no estudo realizado pela Consultoria em 2019). Por se tratar de especulação sobre um possível desenvolvimento da questão dos Compromissos Assumidos no futuro, esse cenário não é contabilizado nas simulações de projeção de receitas acessórias apresentada no Produto 3 – Relatório de Avaliação Econômico-Financeira. Por outro lado, a implantação do projeto associado dependeria de investimento da ordem de 676 milhões de reais (dez/2018) e acarretaria um custo adicional de operação e manutenção (Opex) de 49 milhões de reais.

Já no cenário Emissões Zero, seria possível estimar a antecipação da implantação do projeto associado de autogeração, visando não a sucessão do contrato vigente da CHESF, mas a mitigação máxima das emissões de Escopo 2 associadas à compra de energia hidrelétrica no modelo atual. Nesse cenário, o custo de investimento indicado acima seria o mesmo, porém aconteceria antes, provavelmente uma década antecipada. Já o custo de Opex também passaria a ocorrer antes, transmitindo um resultado pior ao fluxo de caixa do projeto no acumulado do período de concessão.

Em ambos os cenários, a adoção de melhorias nos processos de operação e manutenção da infraestrutura visando a minoração das emissões de Escopo 1 teriam viabilidade de implantação conforme detalhado em item anterior.

Não obstante, ressalta-se que não se trata do resultado de uma análise de viabilidade do investimento, que deve considerar o custo de oportunidade do recurso investido no tempo. Ainda, para o aumento da eficiência energética, as tarifas aplicadas e eventuais subsídios para a conta de energia irão alterar o potencial de economia monetária praticado, e estas características não são exploradas. Além disso, o percentual efetivamente passível de ser otimizado no consumo de energia será modificado de acordo com aspectos específicos da operação do PISF.

Apesar dos custos de investimento elevados, as oportunidades de financiamento e suas taxas de juros aplicadas, bem como a consideração da rentabilidade prevista e das economias geradas, irão influenciar a tomada de decisão do operador em instalar ou não os sistemas de geração de energia solar.

Nota-se, ainda, que os custos da energia fotovoltaica podem diminuir ao longo do tempo devido aos avanços tecnológicos, embora essas variáveis não tenham sido incluídas na modelagem financeira.

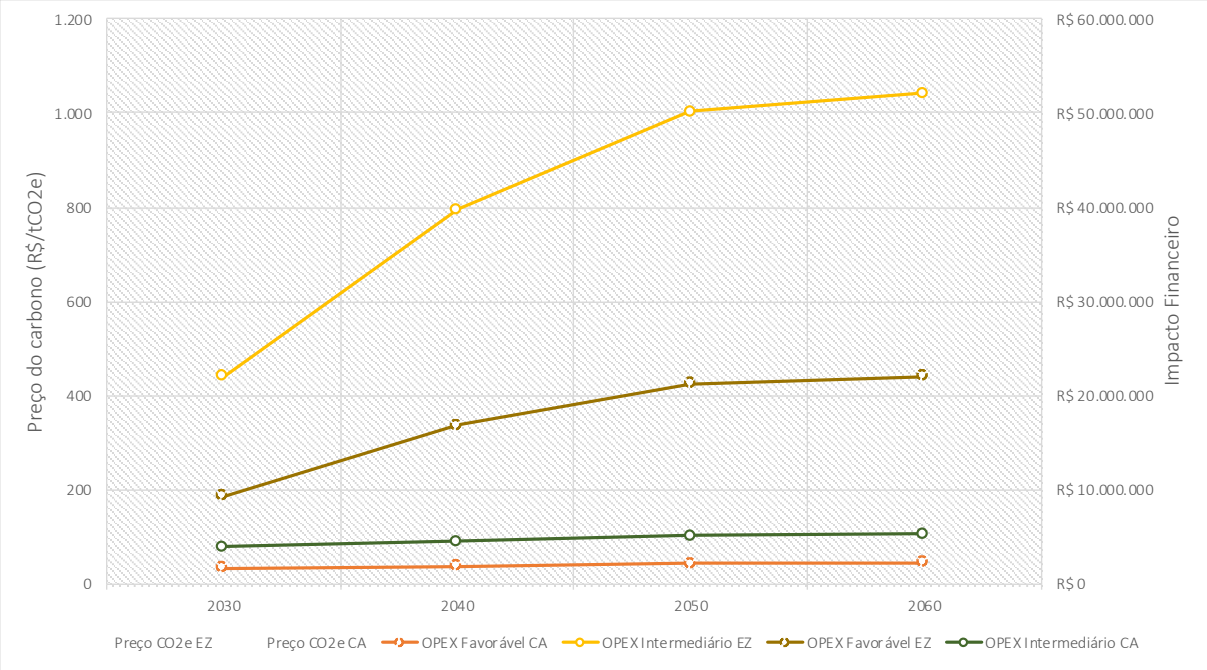


Gráfico 4-1: Simulação financeira para o risco de uma taxa de carbono

Já no caso da taxa de carbono, a depender do cenário regulatório, bem como da conjuntura energética, custos com taxas podem ser significativos. Caso o cenário de transição se alinhe com o de Emissões Zero em 2050, a taxa hipotética subiria de forma bastante rápida entre 2030 e 2040, o que levaria a um impacto financeiro respectivamente elevado. Entre 2030 para a década de 2050-2060, a taxa iria de R$ 491,05 para R$ 1.091,23/tCO_2e; considerando as emissões do projeto nos cenários Favorável e Intermediário, os custos operacionais (OPEX) associados variariam de R$ 9,4 a R$ 52,1 milhões ao ano.

No cenário Compromissos Assumidos, a taxa de carbono varia de R$ 87,85/tCO_2 em 2030 a R$ 112,44/tCO_2 em 2060, o que se traduz em um OPEX anual de R$ 1,7 a R$ 5,4 milhões ao ano, a depender das emissões do projeto nos cenários Favorável e Intermediário (respectivamente). Nota-se que a taxa não se configura como um risco de grande impacto relativo para essa configuração.

Nesse sentido, é importante também considerar a avaliação de riscos e oportunidades em conjunto, dado que o aumento da eficiência energética e a autoprodução fotovoltaica podem reduzir ou anular o risco de uma taxa de carbono.

Considerando o CAPEX e OPEX do PISF apresentados no Tomo V deste Relatório, verifica-se que os impactos financeiros percentuais associados à autoprodução de energia fotovoltaica apresentariam o maior potencial de impacto. Para a taxa de carbono, no cenário de emissões "Favorável" e na conjuntura política de "Compromissos anunciados", o impacto potencial ficaria em torno de 0,5%, atingindo quase 3% em um cenário regulatório mais agressivo.

5. IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DE RISCOS CLIMÁTICOS ASSOCIADOS À ADAPTAÇÃO NO PISF

Dentre as recomendações do TFCD, a consideração do Risco Físico pretende identificar ameaças a integridade material de um empreendimento em decorrência da maior imprevisibilidade e variabilidade de parâmetros hidroclimáticos, reconhecendo o efeito deletério das mudanças projetadas para o clima sobre infraestruturas e os serviços por elas prestados (CISL, 2019a)[8].

5.1 ABORDAGEM METODOLÓGICA

O Risco Físico se divide em duas categorias: uma resultante de condições climáticas médias – que implicam alterações crônicas na climatologia característica de uma região –, e outra associada a condições climáticas extremas – que envolvem riscos agudos decorrentes de eventos extremos, como secas prolongadas (TFCD, 2020)[9]. O Anexo II de Riscos Climáticos do Guia Geral de Análise Socioeconômica de Custo-Benefício (Guia ACB) de Projetos de Investimento em Infraestrutura do antigo Ministério da Economia fornece uma abordagem em etapas para a avaliação e gestão de riscos físicos aplicada em nível de empreendimento. A estrutura proposta para a consideração da componente de risco climático é dividida em três etapas:

- Etapa 1 – Triagem do risco climático: o projeto e seu contexto estão potencialmente sob risco climático?
- Etapa 2 – Avaliação e análise do risco climático: como as ameaças climáticas afetam a performance do seu projeto?
- Etapa 3 – Tomada de decisão considerando a componente climática

Considerando o escopo do presente trabalho, a análise de riscos físicos e adaptação à mudança do clima para o PISF se insere no contexto da Etapa 1 de triagem preliminar do risco climático, que tem como objetivo identificar e avaliar a relevância ou não de potenciais ameaças climáticas para o projeto. As atividades dessa etapa são realizadas com base em análises qualitativas que incluem dados históricos e projetados de variáveis climáticas, impactos associados ao clima, probabilidade de ocorrência e possível severidade de eventos adversos (Brasil, 2022)[10]. A abordagem proposta é baseada no conceito de risco consolidado pelo IPCC, que relaciona potenciais impactos à interação entre a ameaça climática e a exposição e vulnerabilidade do empreendimento. Assim, a etapa de triagem é composta por três subetapas, descritas na sequência.

[8] *CISL. (2019a). Physical risk framework: Understanding the impacts of climate change on real estate lending and investment portfolios - Summary for decision makers. [White Paper].*

[9] *TFCD. (2020). Task Force on Financial Disclosures Guidance on Scenario Analysis for Non-Financial Companies. Report of the Task Force on Climate-Related Financial Disclosures, October, 1–131.*

[10] *Brasil. (2022). Anexo II: Riscos Climáticos - Anexo do Guia Geral de Análise Socioeconômica de Custo-Benefício de Projetos de Investimento em Infraestrutura - Guia ACB. Ministério da Economia.*

5.1.1 IDENTIFICAÇÃO DAS AMEAÇAS CLIMÁTICAS NO CONTEXTO DO EMPREENDIMENTO

Esta subetapa envolve o levantamento de informações a respeito do clima atual e futuro a partir da seleção de variáveis hidrometeorológicas e identificação de impactos relevantes no contexto de análise, tanto nos limites geográficos do empreendimento, quanto em contextos mais amplos que podem exercer influência nas atividades desenvolvidas (Ministério da Economia, 2022). As informações reunidas irão servir de insumo para a identificação e classificação das ameaças potenciais na região do empreendimento.

Especificamente para projetos no setor de recursos hídricos, o Banco Mundial estabelece um conjunto de perguntas a serem feitas com o objetivo de identificar possíveis ameaças climáticas ao empreendimento, apresentadas no Quadro 5-1.

QUADRO 5-1: PERGUNTAS ORIENTADORAS NA BUSCA DE INFORMAÇÕES SOBRE AMEAÇAS CLIMÁTICAS

Ameaças climáticas	Perguntas orientadoras para projetos em recursos hídricos
Temperatura extrema	É previsto que a temperatura anual e mensal (ou seja, a sazonalidade) sofra alterações? É previsto que a frequência, intensidade e duração das temperaturas extremas sofra alterações? É previsto que a temperatura média anual da bacia sofra alterações? A evapotranspiração potencial está projetada para mudar?
Precipitações e inundações extremas	É previsto que os padrões de precipitação anual e mensal (ou seja, sazonalidade) sofra alterações? É previsto que a frequência, a intensidade e a duração da precipitação extrema sofram alterações? O escoamento está previsto para mudar na bacia? É previsto que a capacidade de armazenamento da bacia sofra alterações? É previsto que as vazões máximas na bacia sofram alterações?
Seca	É previsto que a frequência, intensidade e duração das secas mudem? É previsto que as vazões mínimas na bacia sofram alterações?
Ventos fortes	O local do projeto está exposto a ventos de ciclones tropicais, como furacões ou tufões?
Aumento do nível do mar	É previsto que o nível do mar no local mude até o final da vida útil do projeto?
Tempestade	A localização do projeto inclui áreas que sofreram tempestades no passado?
Riscos geofísicos (terremotos, tsunamis, erupções vulcânicas e deslizamentos de terra	O projeto está localizado numa área com risco sísmico alto, médio ou baixo? Houve terremotos históricos? O projeto está localizado em uma área de zona de tsunami? O projeto está localizado perto de um vulcão ativo (ou seja, um que possa ter entrado em erupção nos últimos 10.000 anos)? O local do projeto já sofreu deslizamentos de terra de qualquer natureza no passado? O local do projeto já sofreu incêndios florestais no passado?

Elaboração: Consórcio Engecorps/Moysés & Pires/CERES,2023 (Adaptado de World Bank, 2020[11]).

A partir da identificação das ameaças no contexto de interesse, é possível seguir para a identificação dos potenciais riscos físicos para o empreendimento.

[11] *World Bank. (2020). Climate and Disaster Risk Screening - Sector Screening Guidance Note: Water. 1–15.*

5.1.2 IDENTIFICAÇÃO DE RISCOS POTENCIAIS AFETANDO O EMPREENDIMENTO

Nesta subetapa é avaliado como as ameaças climáticas identificadas podem ou não resultar em impactos potenciais, envolvendo a caracterização dos fatores de exposição e vulnerabilidade associados ao empreendimento e suas atividades. Isso significa que devem ser identificados os possíveis efeitos diretos e materiais associados à mudança do clima, como danos à infraestrutura e interrupções na operação. Assim, cada tipo de infraestrutura estará exposta e será vulnerável a diferentes tipos de ameaças climáticas e riscos potenciais relacionados.

No caso de empreendimentos no setor de recursos hídricos, por exemplo estruturas de abastecimento de água, incluindo reservatórios e sistemas de adução, podem estar sujeitos à alteração na estacionariedade das vazões, reduzindo a confiabilidade da operação e potencialmente demandando ajustes de capacidade (Ministério da Economia, 2022). O Quadro 5-2 relaciona ameaças e impactos climáticos com as atividades de três setores relevantes no contexto do PISF: abastecimento de água, sistemas de transmissão e distribuição e geração de energia.

QUADRO 5-2: RELAÇÃO ENTRE AMEAÇAS E IMPACTOS CLIMÁTICOS E OS SETORES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E ENERGIA

AMEAÇAS E IMPACTOS POTENCIAIS	ABASTECIMENTO DE ÁGUA	SISTEMAS DE TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO	GERAÇÃO DE ENERGIA – DEMANDA
Precipitação			
Enchentes e enxurradas	●	●	●
Alagamentos	●	●	●
Secas e baixa precipitação	●	●	●
Alterações na capacidade ou eficiência	●		
Processos biológicos e/ou doenças	●		
Temperatura			
Calor severo	●	●	●
Frio severo	●	●	●
Alterações na capacidade ou eficiência	●	●	
Subsidência	●		
Demanda de serviço	●		●
Outras ameaças			
Radiação solar			
Tempestade e danos causados pelo vento	●	●	
Queimadas e incêndios	●	●	

Elaboração: Consórcio Engecorps/Moysés & Pires/CERES,2023 (Adaptado de Ministério da Economia, 2022)

Seguindo a identificação dos riscos, é feita a análise preliminar do risco climático, nesse caso tendo como foco o risco físico para a infraestrutura.

5.1.3 AVALIAÇÃO PRELIMINAR DO RISCO CLIMÁTICO: SEVERIDADE E PROBABILIDADE PARA A RELEVÂNCIA DO RISCO

Nesta subetapa é conduzida uma análise preliminar e qualitativa do risco climático ao qual o empreendimento está sujeito, incluindo uma caracterização simplificada da magnitude e probabilidade associadas aos impactos potenciais da mudança do clima identificados (Ministério da Economia, 2022). Para tanto, a metodologia empregada considera a elaboração da Matriz de Exposição ao Risco Físico, que relacionada a probabilidade de ocorrência de um evento adverso ao potencial nível de severidade do impacto resultante. A classificação do risco é então feita conforme apresentado no Quadro 5-3.

QUADRO 5-3: MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO DO RISCO FÍSICO

		Probabilidade				
		Improvável	Pouco provável	Probabilidade média	Provável	Muito provável
Severidade	Extrema	Moderado	Alto	Extremo	Extremo	Extremo
	Crítica	Baixo	Moderado	Alto	Extremo	Extremo
	Moderada	Baixo	Moderado	Moderado	Alto	Extremo
	Baixa	Baixo	Baixo	Moderado	Moderado	Alto
	Muito baixa	Baixo	Baixo	Baixo	Moderado	Moderado
		Classificação do risco				

Elaboração: Consórcio Engecorps/Moysés & Pires/CERES,2023 (Adaptado de Ministério da Economia, 2022)

Os resultados de classificação do risco irão definir se há ou não a necessidade de estudos mais aprofundados. No caso de o risco ser entendido como baixo ou moderado, a incorporação do risco climático em aspectos de projeto do empreendimento não é imperativa. Por outro lado, caso o risco seja identificado como alto ou extremo, fatores de impacto associados ao clima devem ser avaliados de forma detalhada com o objetivo de gerar recomendações que contribuam para a resiliência do empreendimento.

5.2 RESULTADOS

5.2.1 FATORES DE RISCO NA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO E BACIAS RECEPTORAS DO PISF

Climatologia e vulnerabilidade

O semiárido nordestino, região em que se insere a estrutura e a área de influência do PISF, é caracterizado pela elevada variabilidade intra e interanual de precipitação, que de forma orgânica, resulta em anos intercalados de seca e de cheias. Por conta de aspectos climáticos e geológicos, os rios da região têm caráter intermitente, sendo registradas grandes amplitudes entre vazões médias mesmo em anos consecutivos, porém sem representar recarga significativa de aquíferos subterrâneos. Assim, a disponibilidade de água no semiárido está diretamente conectada a dinâmica do clima local, por sua vez influenciado por sistemas globais como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que influencia a ocorrência de chuvas na região (CGEE, 2012)[12].

Apesar das condições de semiaridez, grandes volumes pluviométricos são característicos entre os meses de fevereiro e maio, quando se concentram os eventos de chuva anuais. No restante do ano, a ausência quase completa de chuva, em conjunto com elevadas taxas de evapotranspiração,

[12] *CGEE. (2012). A Questão da Água no Nordeste. In Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (Brasil). https://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2012/aQuestaoDaAguaNoNordeste.pdf*

inviabilizam a manutenção de rios perenes. Para que a água permaneça no semiárido, uma grande rede de reservatórios foi instalada de forma a aumentar a disponibilidade hídrica, terminando por responder por aproximadamente 40% da capacidade nominal de armazenamento de água da região. Mesmo que a alternância entre anos de seca e cheias seja natural no semiárido, a ocorrência desses eventos não obedece a nenhum padrão cíclico, porém pode ser influenciada pela ocorrência do fenômeno El Niño e pelas temperaturas do Oceano Atlântico (CGEE, 2012).

Tal perfil hidroclimático, em interação com fatores sociais históricos e impactos ambientais associados a exploração da terra, resulta em altos níveis de vulnerabilidade humana e econômica - o que justifica o PISF. Sendo assim, o semiárido nordestino já carrega em sua essência a convivência com extremos de clima, bem como movimentos de adaptação a condições adversas. A mudança do clima, no entanto, deve elevar os desafios climáticos e hidrológicos da região, acentuando desigualdades e demandando maiores esforços de gestão e planejamento de recursos hídricos. Nesse contexto, o Projeto de Integração do Rio São Francisco, ao mesmo tempo em que se configura como uma medida de adaptação para o semiárido frente à maior variabilidade do clima, também tem sua própria infraestrutura exposta a uma série de riscos climáticos que podem impactar a realização dos benefícios previstos para o empreendimento.

Diferentes estudos sobre os impactos da mudança do clima apontam o Nordeste como uma das regiões mais suscetíveis a ocorrência de alterações climáticas significativas. Nesse cenário, o aumento da temperatura, em conjunto com a elevada evaporação e redução da pluviosidade, deverá afetar tanto a disponibilidade de água no solo quanto os montantes armazenados em açudes. Apesar do extenso sistema de reservação de água instalado no semiárido, é alta a vulnerabilidade do território frente a alterações no ciclo hidrológico (CGEE, 2012).

O Rio São Francisco, em conjunto com seus afluentes, compõe a principal região hidrográfica do Nordeste brasileiro. A bacia é subdividida em Alto, Médio, Submédio e Baixo São Francisco, com os últimos dois apresentando características climatológicas marcadas pela menor incidência de precipitação, típicas de um clima semiárido. Nesses trechos encontram-se também os aproveitamentos hidroelétricos de Sobradinho e Itaparica, além das captações de água dos Eixos Norte e Leste do PISF (CBHSF, 2016). O reservatório de Sobradinho possui uma das maiores capacidades de regularização do Sistema Interligado Nacional (SIN), detendo 10% do de seu volume útil total (Ramina, 2014)[13].

A bacia do Rio São Francisco, marcada por sua relevância histórica e elevada diversidade geográfica e cultural, enfrenta atualmente desafios crescentes em relação a garantia dos usos múltiplos da água. Desde o início dos anos 2000, observa-se o aumento expressivo da atividade agropecuária na região, que em sua expansão, reduziu a área de cobertura dos biomas Caatinga e Cerrado, principalmente no Médio e Baixo São Francisco. O uso mais outorgado na bacia corresponde à irrigação (76%), seguido de abastecimento humano (8%), de forma que a demanda total de recursos hídricos estimada no Plano de Bacias do Rio São Franciso no horizonte 2014-2025 seja de 309,4 m^3/s, representando um aumento de 87% em relação ao ano de 2000. O crescimento da demanda total está relacionado principalmente

[13] *Ramina, R. H. (2014). Concepção de uma estratégia robusta para a gestão dos usos múltiplos das águas na bacia hidrográfica do Rio São Francisco - Os condicionantes estruturais.*

a expansão de perímetros irrigados, com o consumo desse setor tendo aumentado 114% no período (CBHSF, 2016)[14]. Destaca-se, aqui, que a operação das hidrelétricas não condiciona a dinâmica de utilização de água na bacia, uma vez que estas estão reguladas pelas regras operativas estabelecidas pela ANA e o planejamento da operação é realizado pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS.

Tanto os estados receptores do PISF no semiárido nordestino, quanto a bacia hidrográfica do Rio São Francisco, parcialmente exposta aos mesmos condicionantes climáticos, apresentam atualmente fatores de vulnerabilidade social, econômica e ambiental que devem se agravar à medida que a temperatura global aumenta. Efeitos adversos associados à mudança do clima já podem ser observados nessas regiões, de forma que a análise do risco físico deve considerar potenciais canais de impacto tanto na infraestrutura de adução de água do PISF, quanto em sua área de influência.

Ameaças e exposição: tendências climáticas atuais e futuras

Desde 1988, o IPCC publicou seis relatórios de avaliação dos impactos das atividades humanas no clima terrestre. Em 2001, o terceiro relatório (AR-3) marcou o alcance de um consenso científico global no tema, ratificando a ocorrência de alterações climáticas provocadas pelo homem e projetando cenários futuros alarmantes. O AR-6, publicado em 2021, por outro lado, já considera a mudança do clima um fenômeno de consequências no presente, e não mais como uma conjuntura no longo-prazo. Como parte dos estudos de clima, Modelos Climáticos Globais (MCG) são empregados para a simulação e projeção de variáveis climatológicas e suas complexas interações com os sistemas sociais (IPCC, 2023)[15]. Cada relatório de avaliação do IPCC carrega um conjunto de MCG utilizados para diagnóstico e caracterização de mudanças possíveis de ocorrer ainda no século 21. Tais modelos assumem diferentes trajetórias políticas e socioeconômicas, que resultam em diversas conjunturas de emissões de GEE e aumentos na temperatura global. Em seu sexto relatório (AR-6), o IPCC adotou 4 cenários de emissões de GEE, denominados *Shared Socioeconomic Pathways* (SSP). O Gráfico 5-1: Cenários do Sexto Relatório de Avaliação do IPCC (IPCC, 2021. Adaptado por Jornal da USP, 2021) apresenta esses cenários para o AR-6.

[14] *CBHSF. (2016). Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio São Francisco 2016-2025: Volume II. Comitê Da Bacia Hidrográfica Do Rio São Francisco, 2.*

[15] *IPCC. (2023). Summary for Policymakers: Synthesis Report. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 1–34.*

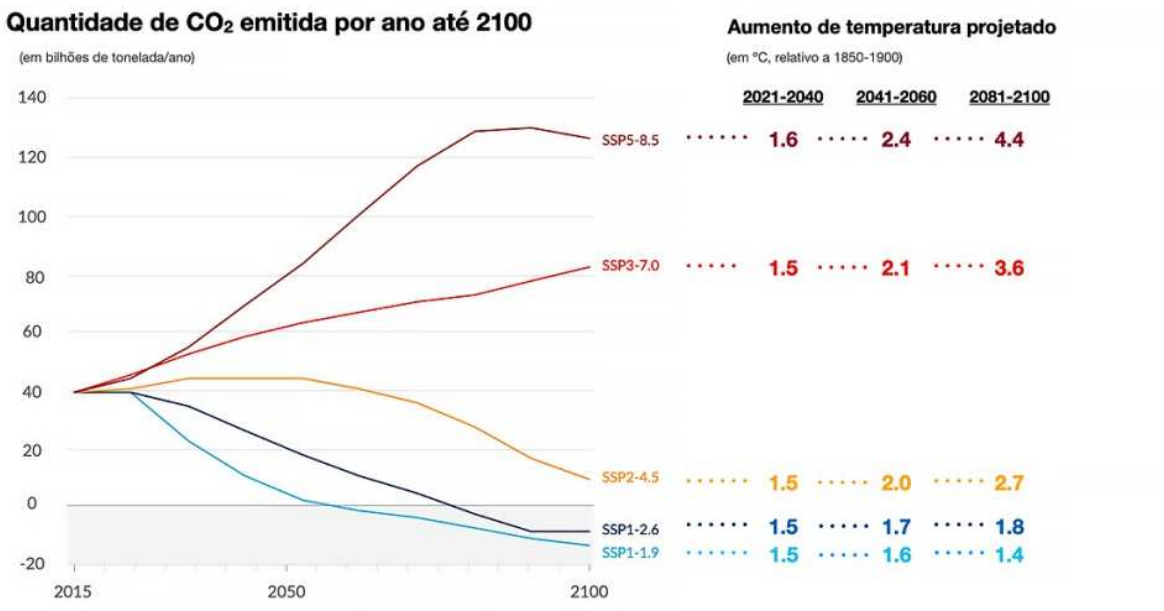


Gráfico 5-1: Cenários do Sexto Relatório de Avaliação do IPCC (IPCC, 2021. Adaptado por Jornal da USP, 2021)

Desde 2007, com a publicação do AR-4, o IPCC aponta um aumento de 2 a 4°C para a região Nordeste – em relação aos 30 anos anteriores – e menores índices de precipitação que podem implicar reduções de até 20% nas vazões do Rio São Francisco, conforme reforçado na publicação AR-6 do IPCC (capítulo 4). Modelagens regionalizadas do INPE para os resultados do AR-4, que consistem no detalhamento de informações globais para aplicação em contextos locais, indicaram reduções de 10 a 15% nas chuvas do Nordeste em um cenário otimista, podendo chegar a 20% em condições mais críticas de clima (CGEE, 2012). Esse mesmo estudo listou possíveis impactos da mudança do clima na região, que incluem: a transmutação do bioma Caatinga para uma vegetação características de zonas mais áridas; a predominância do clima seco, com aumento dos déficits hídricos; maiores ameaças à continuidade da agricultura de sequeiro; aumento da evaporação e da temperatura levando à diminuição da disponibilidade hídrica em açudes e reservatórios; maior incidência de chuvas torrenciais e concentradas em curtos períodos de tempo, resultando em enchentes e inundações; e maior frequência de dias secos consecutivos e ondas de calor.

Em nível global, os MCG do AR-6 projetam para todo o território brasileiro aumentos por volta de 1,5 a 4°C entre os anos 2040 e 2059 a depender do cenário, como mostra a Figura 5-1.

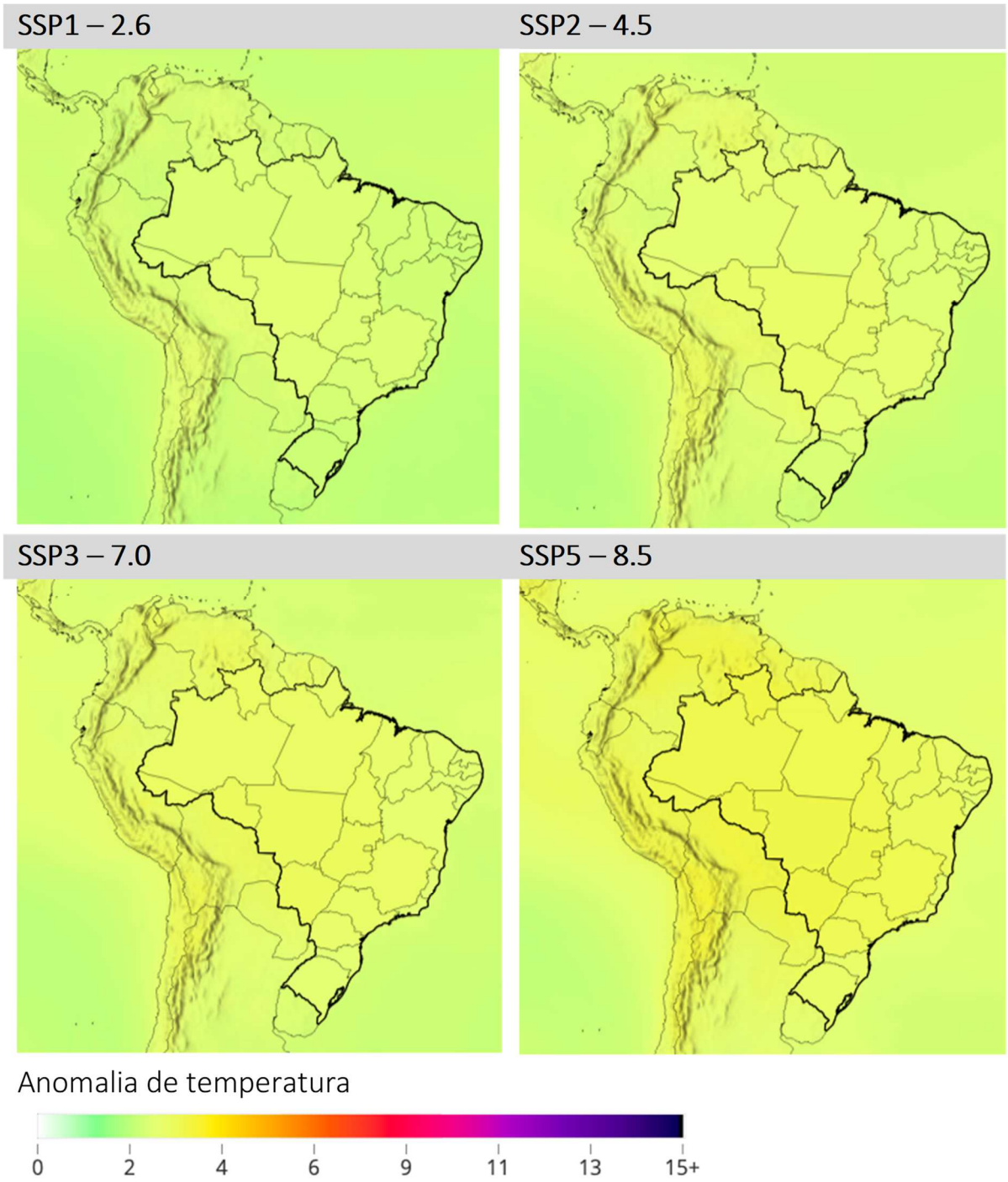


Figura 5-1: Projeções de anomalia para a temperatura média do ar entre 2040-2059 em relação ao período 1995-2014 (Adaptado de CCNK, 2023[16])

O aumento da temperatura em território brasileiro continuaria de forma progressiva até o final do século, podendo atingir 4°C no cenário SSP2-4.5 e até 7°C no cenário SSP5-8.5. O Gráfico 5-2 apresenta a evolução da temperatura média do ar para os diferentes cenários do AR-6.

[16] *CCKP (2023). Climate Change Knowledge Portal. The World Bank. Disponível em: https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/brazil/extremes*

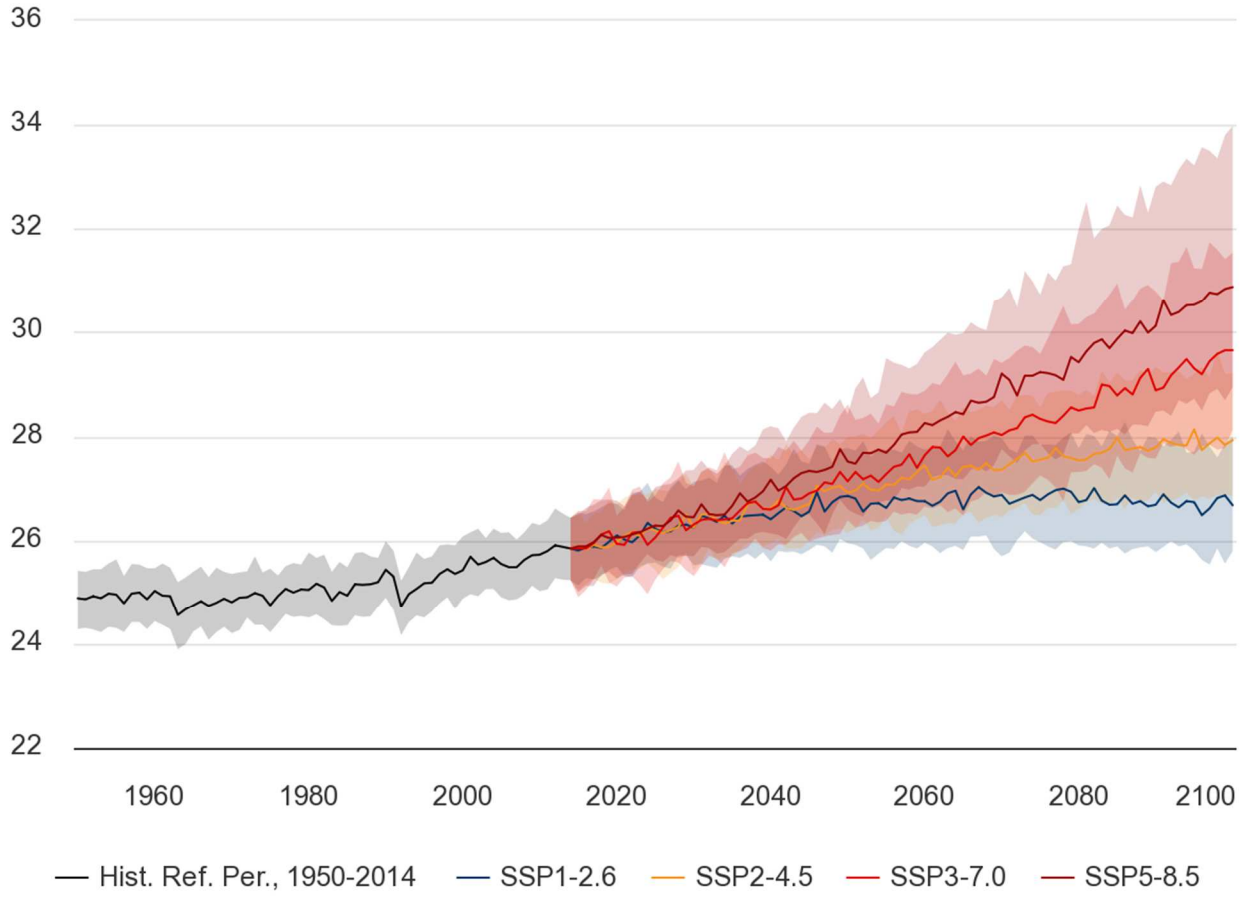


Gráfico 5-2: Projeções de temperatura média para o Brasil a partir dos modelos do AR-6 (CCKP, 2023)

Em relação a eventos extremos, os modelos do AR6 projetam a diminuição do período de retorno para todas as classes de eventos de precipitação no Brasil, como apresentado no Quadro 5-4, que traz a média dos períodos de retorno futuro entre 2035 e 2064.

QUADRO 5-4: PROJEÇÕES DE MUDANÇAS NOS PERÍODOS DE RETORNO PARA DIFERENTES CLASSES DE EVENTO DE PRECIPITAÇÃO NO BRASIL (CCKP, 2023)

Cenário	Evento					
	5 anos	10 anos	20 anos	25 anos	50 anos	100 anos
SSP1-2.6	3,92	7,45	14,15	17,40	33,06	62,84
SSP2-4.5	3,79	7,12	13,37	16,38	30,81	57,89
SSP3-7.0	3,74	6,99	13,08	16,00	29,84	55,72
SSP5-8.5	3,69	6,87	12,79	15,62	28,12	54,26

Elaboração: Consórcio Engecorps/Moysés & Pires/CERES,2023

O período de retorno representa a probabilidade de ocorrência de um evento de determinada magnitude, de forma que eventos de magnitude elevada ocorrem historicamente com menor frequência. Projeções climáticas, no entanto, apontam que eventos com período de retorno de 100 anos, ou seja, eventos extremos e de baixa incidência, podem ser tornar duas vezes mais frequentes no horizonte considerado. Apesar das projeções em âmbito global serem importantes para o

entendimento das principais tendências, escala geográficas menores fornecem estimativas em nível local.

O Quadro 5-5 abaixo sumariza resultados de diferentes estudos de projeções climáticas para a bacia do Rio São Francisco e para o semiárido nordestino.

QUADRO 5-5: TENDÊNCIAS PROJETADAS POR DIFERENTES ESTUDOS CLIMÁTICOS PARA O NORDESTE E A BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO

Referência	Tendências projetadas
Lucena et al. (2009)[17]	Reduções entre 23 e 27% na vazão média anual do Rio São Francisco até o final do século nos cenários A2 (emissões altas) e B2 (emissões baixas) do IPCC segundo projeções regionalizadas.
Marengo (2008)[18]	Aumento de dias secos consecutivos no Nordeste.
Tanajura et al. (2010)[19]	Aumento das temperaturas no interior do nordeste em aproximadamente 4 e 5°C, com reduções de precipitação da ordem de 25-50% em regiões semiáridas da Bahia, causando reduções por volta 60 a 90% em vários rios do Nordeste.
Marengo et al. (2012)	Redução das precipitações durante os períodos chuvosos, alcançando até 3,5mm/dia na bacia do Rio São Francisco, representando um volume de chuvas 35% menor. Aumento da diferença entre as taxas de precipitação e evaporação da região.
Marengo & Bernasconi (2015)[20]	Reduções de precipitação de até 22% na região Nordeste até o final do século no cenário RCP 4.5 (emissões intermediárias) do IPCC segundo projeções regionalizadas.
Neto et al. (2016) [21]	Reduções entre 41 e 63%% na vazão média anual do Rio São Francisco nos anos 2040 e 2070, respectivamente, considerando o cenário RCP 8.5 (emissões altas), e de 29% no cenário RCP 4.5 (emissões intermediárias) segundo projeções regionalizadas.
Marengo et al. (2017)	Aumento de aproximadamente 1,3°C na Região Nordeste para o cenário RCP 2.6 (emissões baixas) e 4,4°C para o RCP 8.5 (emissões altas). Aumentos de precipitação entre 0,5 mm/dia (RCP 2.6) a 1,0 mm/dia (RCP 8.5) no período de dezembro a janeiro, com reduções de aproximadamente 0,5 mm/dia para o restante no ano no cenário RCP 8.5.
Nóbrega et al. (2022)[22]	Aumento da abrangência espacial e da magnitude da aridez (razão entre precipitação e evaporação) em todas as regiões da bacia Rio São Francisco segundo modelos e cenários regionalizados do AR6, principalmente na região área da transposição do rio São Francisco.

Elaboração: Consórcio Engecorps/Moysés & Pires/CERES,2023 Adaptado de Jong et al., 2018[23]

[17] Lucena, A.F.P. de, Szklo, A.S., Schaeffer, R., Souza, R.R. De, Borba, B.S.M.C., Costa, I.V.L. da, Júnior, A.O.P., Cunha, S.H.F. da, (2009). The vulnerability ofrenewable energy to climate change in Brazil. Energy Policy 37, 879–889.

[18] Marengo, J.A., (2008). Water and climate change. Estudos avançados. 22, p. 63

[19] Tanajura, C.A.S., Genz, F., Araujo, H., (2010). Mudanças climáticas e recursos hídricos na Bahia: validação da simulação do clima presente do HadRM3P e comparação com os cenários A2 e B2 para 2070-2100. Revista Brasileira de Meteorologia ed. online. vol. 3, pp. 345–358.

[20] Marengo, J.A., Bernasconi, M., (2015). Regional differences in aridity/drought conditions over Northeast Brazil: present state and future projections. Clim. Chang. 129, 103–115

[21] Neto, A.R., da Paz, A.R., Marengo, J.A., Chou, S.C., (2016). Hydrological processes and climate change in hydrographic regions of Brazil. J. Water Resources. Prot. 8, 1103–1127

[22] Nóbrega, M. R. R., da Silva, M. V. M., Lima, C. E. S., da Silva, G. K., Gonçalves, S. T. N., & Silveira, C. da S. (2022). Impacto das Mudanças Climáticas na Aridez da Bacia Estendida do rio São Francisco, Brasil. Revista Brasileira de Meteorologia, 37(2), 185–197. https://doi.org/10.1590/0102-77863710032

[23] Jong, P., Tanajura, C. A. S., Sánchez, A. S., Dargaville, R., Kiperstok, A., & Torres, E. A. (2018). Hydroelectric production from Brazil's São Francisco River could cease due to climate change and inter-annual variability. Science of the Total Environment, 634, 1540–1553. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.256

A Figura 5-2 apresenta os resultados obtidos por Marengo et al. (2017)[24] para anomalias de precipitação e temperatura a partir de projeções dos modelos do AR5 mencionados na Tabela acima.

Em relação a seleção de cenários, a consideração de um cenário alinhado ao Acordo de Paris, ou seja, que limita o aumento global de temperatura a 1,5°C, sinaliza disposição para o alcance das metas climáticas estabelecidas, sendo especialmente relevante no contexto da análise de riscos de transição dado que estes se relacionam com esforços em âmbito político (TFCD, 2021)[25]. No entanto, os compromissos realizados até o momento indicam uma lacuna significativa entre o que foi anunciado e o que está sendo executado por governos ao redor do mundo. Caso as medidas de ação necessárias para a redução das emissões não sejam efetivadas, é esperado um aumento de pelo menos 2,8°C na temperatura global (UNEP, 2022)[26]. Assim, para a avaliação do risco físico, é pertinente considerar ao menos um cenário de caráter mais crítico, de forma a identificar situações de risco extremo para a infraestrutura e garantir estratégias que sejam resilientes sob diferentes condições de clima futuro.

[24] Marengo, J. A., Torres, R. R., & Alves, L. M. (2017). Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. Theoretical and Applied Climatology, 129(3–4), 1189–1200. https://doi.org/10.1007/s00704-016-1840-8

[25] TFCD. (2021). Task Force on Climate-related Financial Disclosures: Implementing the Recommendations of the Task Force on Climate-related Financial Disclosures. In Task Force on Climate-related Fiancial Disclosures (Issue October). https://assets.bbhub.io/company/sites/60/2020/10/FINAL-TCFD-Annex-Amended-121517.pdf

[26] UNEP. (2022). Emissions Gap Emissions Gap Report 2022. https://www.unenvironment.org/interactive/emissions-gap-report/2019/

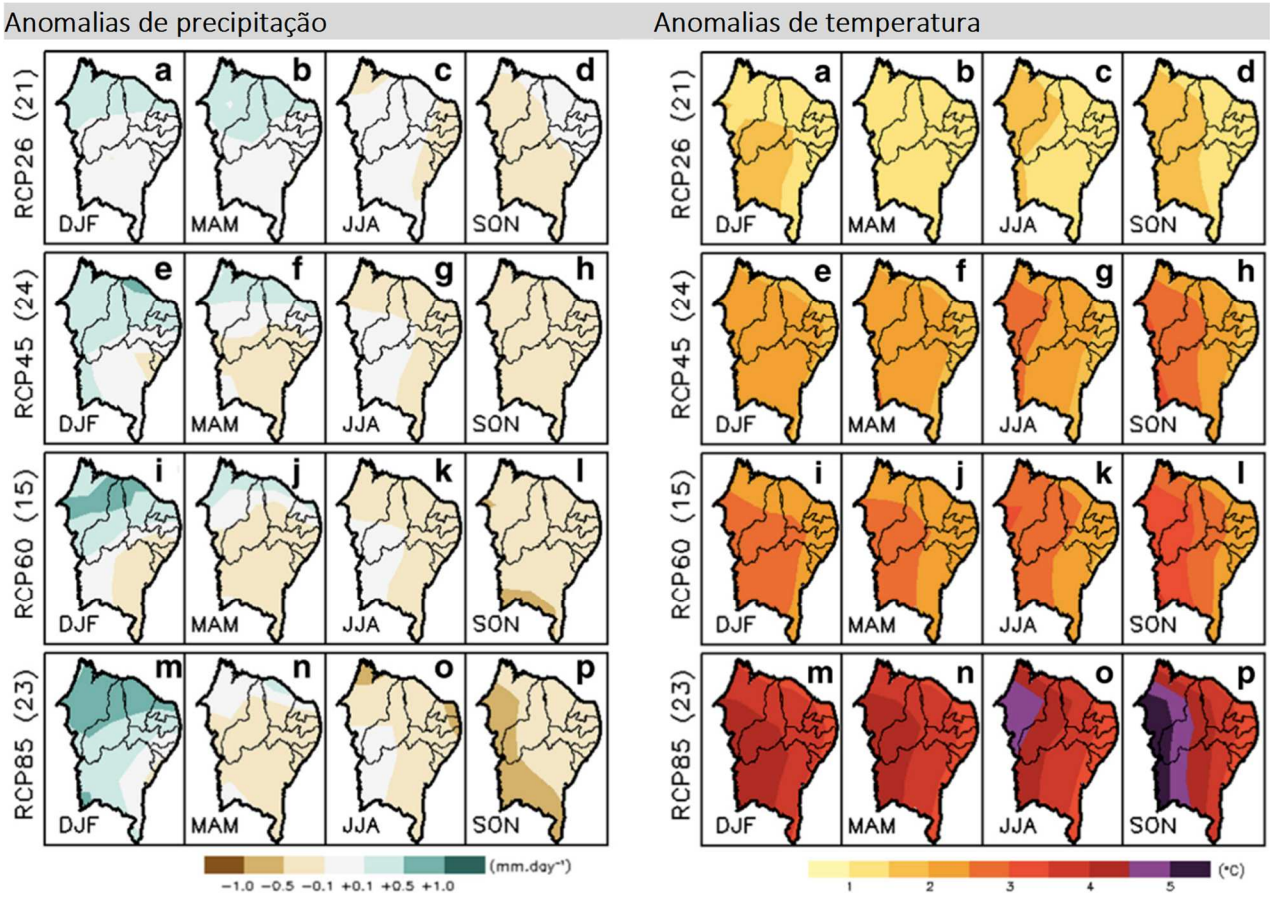


Figura 5-2: Projeções dos modelos e cenários do AR5 para anomalias de precipitação e temperatura no Nordeste entre 2071-2100 em relação ao período 1961-1990 (Marengo et al., 2017).

Os Modelos Climáticos Globais são uma importante fonte de informações climáticas para o planejamento em nível global, principalmente para fins de mitigação da mudança do clima. Para esforços de adaptação, que se desenvolvem em nível local, os resultados projetados geralmente carregam muitas incertezas, que podem incluir estimativas enviesadas e pouco representativas das tendências atuais. Nesse contexto, e considerando que impactos associados a maior variabilidade climática já podem ser identificados em séries históricas de dados hidrometeorológicos (Jong et al., 2018), é pertinente a análise de tendências com base em eventos recentes.

Nos últimos 20 anos, a bacia do Rio São Francisco tem vivenciado uma sequência de crises hidrológicas, registrando vazões reduzidas em 2001, 2008 e 2012, ano em que teve início um período seco sem precedentes em duração e intensidade segundo dados históricos do setor elétrico. Em 2014, a Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF) teria demonstrado preocupação em relação às vazões na bacia incremental de Sobradinho, tendo sido identificada uma redução de 300 a 340 m³/s nesse trecho (Ramina, 2014). De fato, a análise das vazões afluentes nesse reservatório entre 1931 e 2017, segundo análise de Jong et al. (2018) com base em dados do ONS, mostram uma tendência clara de declínio a partir de 1992, não havendo diferença nas médias de longo prazo observadas para períodos anteriores, como mostra o Gráfico 5-3.

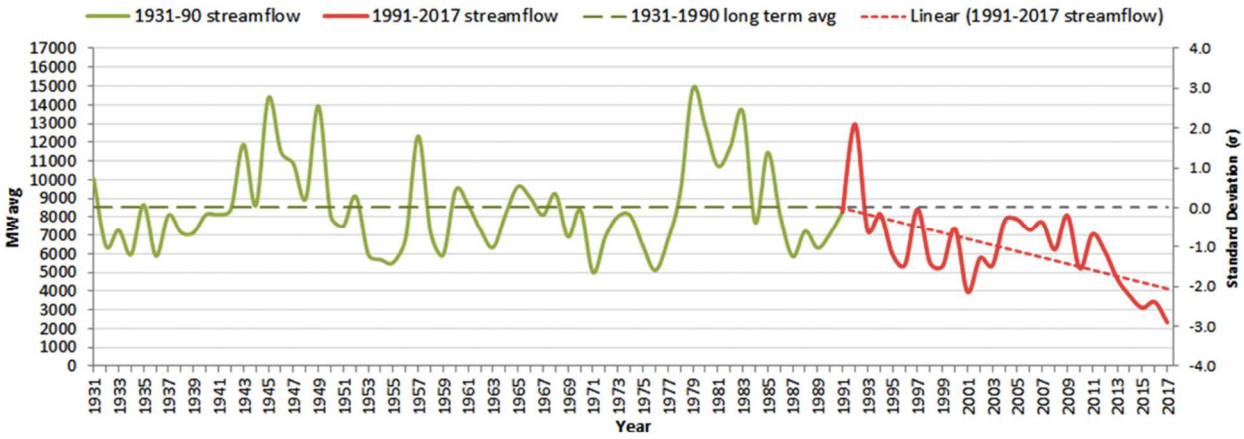


Gráfico 5-3: Vazões anuais no Rio São Francisco entre 1931 e 2017 (Jong et al., 2018).

As consecutivas situações emergenciais em Sobradinho resultaram em mudanças significativas nas regras de operação do reservatório, reduzindo as restrições de vazão mínima a jusante de 1.300 m³/s – valor estabelecido com base na manutenção das características naturais do rio – a 700 m³/s, garantindo a geração elétrica, porém em detrimento de impactos significativos para as comunidades de entorno (Ramina, 2014).

Por outro lado, a partir de dados meteorológicos registrados por 37 estações instaladas na região hidrográfica do São Francisco, foram constatadas tendências de aumento da temperatura e evaporação, bem como diminuição da precipitação (CBHSF, 2016). No Baixo e Médio São Francisco foi identificada uma variação de 0,5 e 0,3 C°/década, respectivamente. Tendência similares foram observadas para a evaporação, tendo as regiões do Submédio e Baixo São Francisco um aumento de 0,2 mm por década. Adicionalmente, foi identificado um aumento de precipitação em dias chuvosos em toda a bacia, indicando um possível agravamento de eventos extremos (CBHSF, 2016).

O estudo de estações pluviométricas nas bacias contempladas pelo Eixo Norte do PISF também identificou a tendência de redução nas chuvas nessa região (Silva, 2020)[27]. Além disso, análises a partir de bases de dados espaciais indicam ainda que desde 1985 a bacia do Rio São Francisco perdeu 50% da sua superfície de água natural, e mesmo com a consideração do aumento proveniente dos reservatórios instalados no período, as sub-bacias que compõem a bacia do Rio São Francisco acumulam até o momento uma redução total de 4% da superfície de água (Map Biomas, 2022)[28]. Tais tendências são corroboradas também pela variação observada para a normal climatológica brasileira entre os períodos de 1961-1990 e 1991-2020 para precipitação acumulada anual (mm) e temperatura máxima (°C), como apresentado na Figura 5-3.

[27] *Silva, E. R. A. C. (2020). Análise da dinâmica climática em bacias semiáridas no Eixo Norte do Projeto de Transposição do Rio São Francisco: contribuições para o cumprimento dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.*

[28] *Map Biomas. (2022). FACT SHEET - Bacia do São Francisco: Dia Nacional em Defesa do Rio São Francisco.*

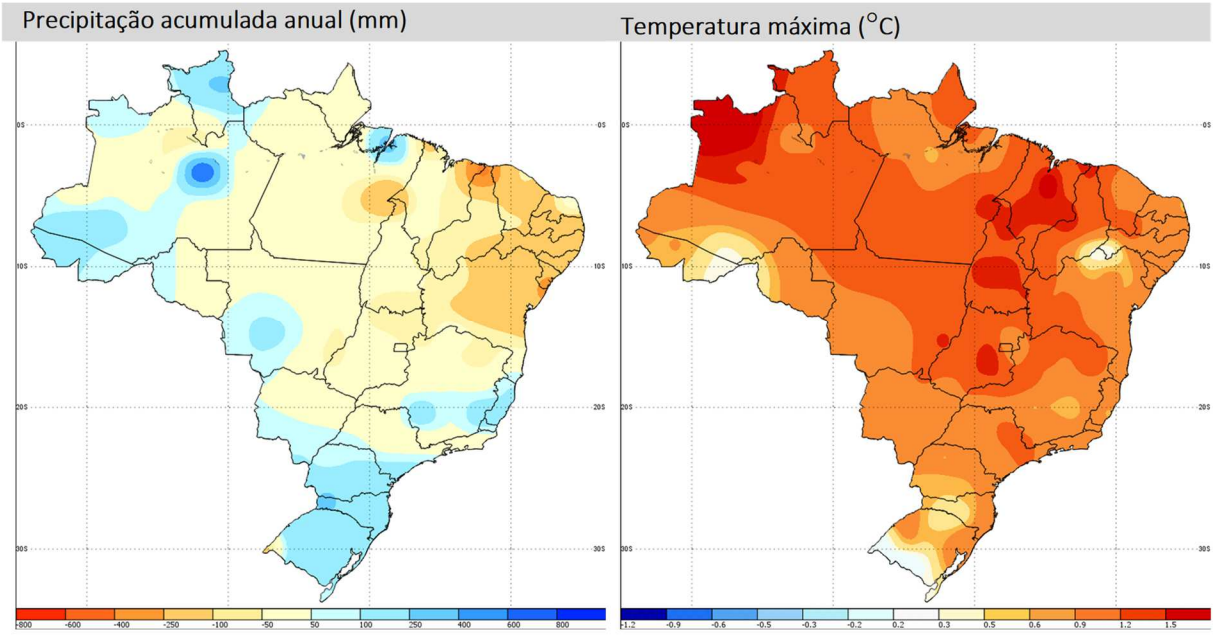


Figura 5-3: Variação observada para a normal climatológica brasileira entre os períodos de 1961-1990 e 1991-2020 (INMET, 2023)[29].

A ocorrência de anos alternados de secas e cheias, como mencionado, também são característicos da região. Entre 1919 e 2004, foram registrados nove principais eventos de cheias, ocorrendo um período de quase vinte anos sem novas ocorrências, até as chuvas intensas de 2022 (CBHSF, 2016). Em relação às secas, amplamente entendido que estas estão se intensificando tanto em magnitude, quanto em duração (Marengo et al., 2017). A Figura 5-4 apresenta uma linha do tempo da ocorrência de secas no Nordeste. Tais alterações estão conectadas a fatores climáticos globais, porém também encontram raiz na dinâmica socioeconômica a nível de bacia e do aumento da demanda hídrica dos usuários de água, principalmente do setor agropecuário, bem como na expansão do desmatamento na região.

[29] *INMET (2023). Instituto Nacional de Meteorologia: Variações climáticas. Disponível em: https://clima.inmet.gov.br/VariacoesClimaticas/1961-1990/diferenca_precipitacao*

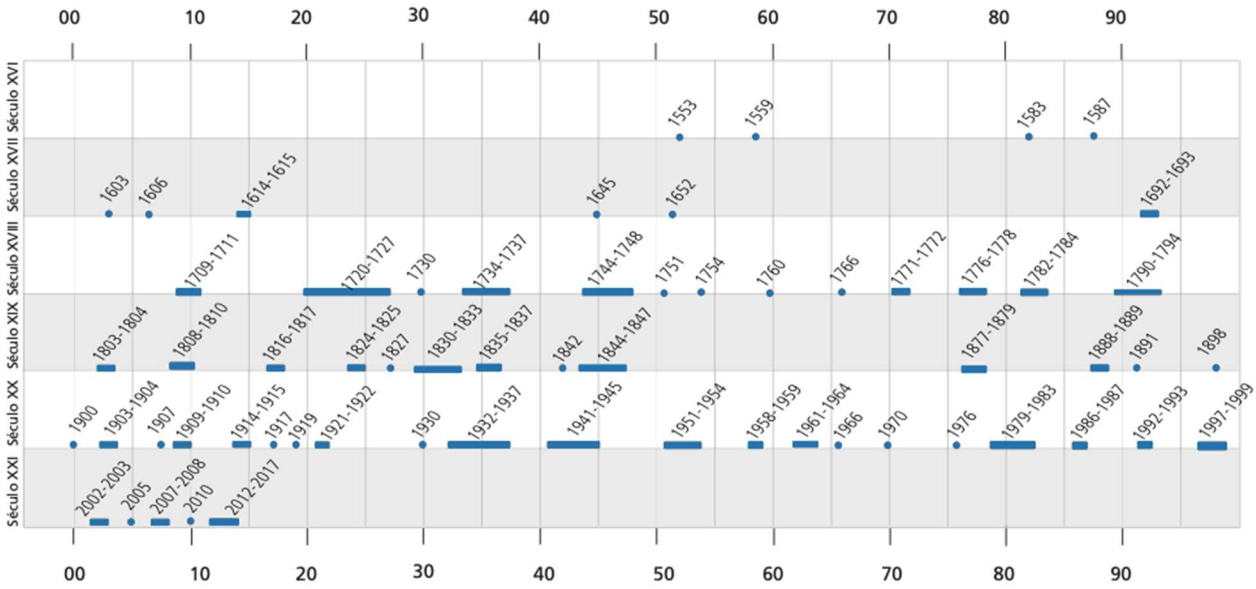


Figura 5-4: Linha do tempo de secas no Nordeste (Lima e Magalhães, 2018)[30].

Jong et al. (2018) observam que as tendências médias observadas já indicam uma redução de precipitação e vazão em Sobradinho de 25 e 33% respectivamente. Caso a tendência observada a partir de 1992 se consolide, mesmo desconsiderando os efeitos da seca de 2012, podem ocorrer reduções de aproximadamente 60% nas vazões até 2050 em relação às médias observadas entre 1931 e 1990. Assim, apesar da possível ocorrência de eventos extremos de chuva na bacia, a intensificação dos eventos de seca e a concretização dos processos de aridificação do clima no Nordeste, apontam para um futuro de menor disponibilidade hídrica, tanto na região hidrográfica do Rio São Francisco, quanto nas bacias receptoras do PISF. Mesmo no cenário atual de oferta e demanda, não se pode desconsiderar a possibilidade de déficits hídricos nos estados beneficiados, o que pode significar maior pressão sobre os recursos hídricos aportados pelo PISF.

O aumento da temperatura e da evaporação, em conjunto com a diminuição da precipitação, intensificação das condições de semiaridez e avanço da agropecuária sobre a Caatinga, aumentam a vulnerabilidade deste bioma a ocorrência de incêndios, apresentados no Gráfico 5-4, e que tem registrado um dos maiores aumentos no número de focos identificados nos últimos anos. Por fim, ventos fortes também são projetados para a região (Lucena et al., 2010)[31], que apesar de representarem uma oportunidade para a geração de energia eólica, se constituem como uma ameaça à integridade de infraestruturas, principalmente do setor elétrico.

Cabe ressaltar, no entanto, que o PISF é um **projeto concebido e executado para adaptação a condições climáticas adversas**, se caracterizando, na partida, como um projeto de resiliência ao histórico climático da região.

[30] *Lima, J. R.; Magalhães, A. R (2018). Secas no Nordeste: registros históricos das catástrofes econômicas e humanas do século 16 ao século 21. Revista Parcerias Estratégicas, Brasília-DF, v. 23, n. 46, p. 191-212, jan./jun.*

[31] *Lucena, A.F.P., Szklo, A.S., Schaeffer, R., Dutra, R.M., (2010). The vulnerability of wind power to climate change in Brazil. Renew. Energy 35, 904–912.*

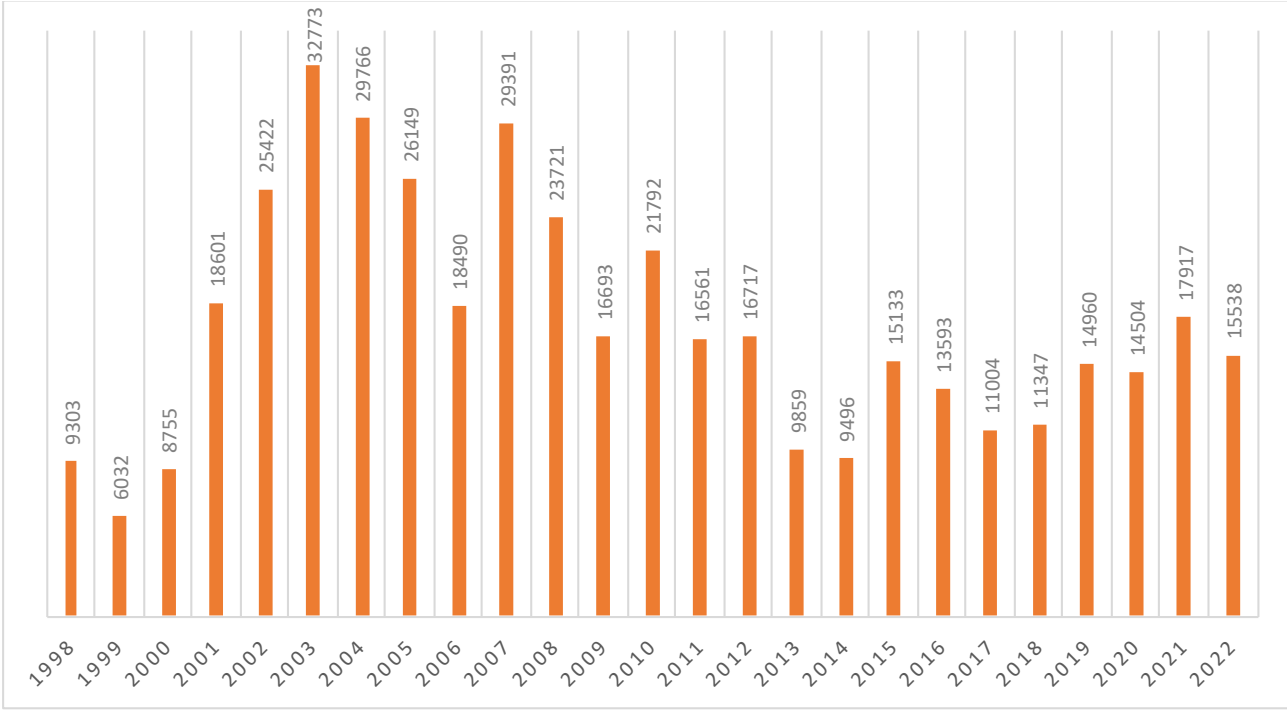


Gráfico 5-4: Focos de incêndio no bioma Caatinga entre 1998 e 2022 (INPE, 2023).

5.2.2 MATRIZ DE EXPOSIÇÃO AO RISCO FÍSICO

Com base nas informações apresentadas na seção anterior, foi elaborada a Matriz de exposição ao Risco Físico do Projeto de Integração do Rio São Francisco. Os riscos e impactos potenciais identificados, associados às ameaças climáticas e fatores de vulnerabilidade descritos na seção anterior, foram classificados de acordo com a abordagem metodológica detalhada no início deste capítulo.

Análise mapeou sete riscos classificados como extremos, dentre eles, a diminuição da disponibilidade hídrica na bacia do Rio São Francisco e bacias receptoras, tanto em caráter progressivo quanto crítico, danos às linhas de transmissão e distribuição e aumento das perturbações na operação. Outros cinco riscos foram identificados como altos, incluindo a danificação das estruturas de adução por incêndios e eventos de precipitação intensa, entre outros. Por fim, cinco riscos restantes foram classificados como moderados, dentre eles, a interrupção do fornecimento de energia elétrica. A Matriz de exposição ao Risco Físico é apresentada no Quadro 5-6.

QUADRO 5-6: MATRIZ DE EXPOSIÇÃO AO RISCO FÍSICO.

Ameaça climática	Categorias de risco	Impactos potenciais	Probabilidade	Severidade	Classificação do risco
Mudanças crônicas de parâmetros climatológicos (tendência de aumento da temperatura média, aumento da evaporação e diminuição da precipitação média)	Alteração das condições operacionais da infraestrutura (níveis máximos e mínimos, vazões disponíveis, entre outros)	• Não estacionariedade de séries afluentes demandando ajustes constantes na operação e limitando o atendimento de demandas • Danificação de equipamentos	Probabilidade média	Moderada	Moderado
	Interrupção da operação em caráter momentâneo	• Impactos associados a paradas de sistema mais frequentes • Impacto da interrupção da operação no escoamento de água nos canais	Probabilidade baixa	Moderada	Baixo
	Redução progressiva da disponibilidade hídrica na bacia do Rio São Francisco	• Aumento dos conflitos pelo uso da água • Revisões de outorga do PISF	Probabilidade média	Crítica	Alto
	Diminuição progressiva da disponibilidade hídrica nas bacias receptoras	• Aumento das perdas por evaporação • Aumento da demanda por recursos hídricos nas bacias receptoras • Aumento de conexões irregulares e roubos de água nos canais do PISF	Probabilidade média	Crítica	Alto
Aumento da temperatura máxima, aumento de dias quentes	Interrupção do provimento de energia elétrica	• Interrupção da operação • Impactos associados a paradas de sistema mais frequentes • Impacto da interrupção da operação no escoamento de água nos canais	Pouco provável	Crítica	Moderado
	Danos a linhas de transmissão e distribuição	• Redução da capacidade de transmissão e aumento de perdas elétricas • Interrupção da operação • Impactos associados a paradas de sistema mais frequentes • Impacto da interrupção da operação nos padrões de escoamento de água nos canais	Pouco provável	Crítica	Moderado
Intensificação das condições de semiaridez e dos períodos de seca	Aumento de perturbações na operação	• Aumento de conexões irregulares e roubos de água nos canais do PISF	Probabilidade média	Baixa	Baixo
	Eventos de disponibilidade hídrica crítica na bacia do Rio São Francisco mais frequentes	• Agravamento em níveis críticos dos conflitos pelo uso da água • Revisões de outorga do PISF	Probabilidade média	Crítica	Alto
	Eventos de disponibilidade hídrica crítica nas bacias receptoras mais frequentes	• Perdas por evaporação elevadas • Aumento da demanda por recursos hídricos nas bacias receptoras • Aumento de conexões irregulares e roubos de água nos canais do PISF	Probabilidade média	Crítica	Alto

Ameaça climática	Categorias de risco	Impactos potenciais	Probabilidade	Severidade	Classificação do risco
	Danos a linhas de transmissão e distribuição	• Desgaste de materias e risco aumentado de curto-circuito	Pouco provável	Crítica	Moderado
Eventos extremos de precipitação	Danificação das estruturas de adução de água (canais, estruturas de medição, entre outros)	• Interrupção da operação • Tempo para recuperação da infraestrutura	Pouco provável	Crítica	Moderado
	Interrupção da operação em caráter emergencial	• Impactos associados a paradas de sistema por períodos mais longos de tempo • Tempo para recuperação da infraestrutura	Pouco provável	Extrema	Alto
	Transbordamento dos canais em eventos de cheia atípicos e danificação das estruturas de drenagem	• Inundação a jusante • Interrupção da operação • Tempo para recuperação da infraestrutura • Impactos no entorno do empreendimento	Pouco provável	Crítica	Moderado
	Aumento da erosão e da possibilidade de deslizamentos	• Risco aumentado de acidentes • Danos a infraestrutura e equipamentos • Interrupção da operação	Probabilidade média	Moderada	Moderado
Ventos fortes	Danos a linhas de transmissão e distribuição	• Rompimento de cabos e Interrupção da operação • Impactos associados a paradas de sistema mais frequentes • Impacto da interrupção da operação nos padrões de escoamento de água nos canais	Probabilidade média	Crítica	Alto
Incêndios	Danos a linhas de transmissão e distribuição	• Rompimento de cabos e Interrupção da operação • Impactos associados a paradas de sistema mais frequentes • Impacto da interrupção da operação nos padrões de escoamento de água nos canais	Pouco provável	Crítica	Moderado
	Danificação das estruturas de adução de água (canais, estruturas de medição, entre outros)	• Risco aumentado de acidentes • Interrupção da operação • Tempo para recuperação da infraestrutura	Pouco provável	Crítica	Moderado

Elaboração: Consórcio Engecorps/Moysés & Pires/CERES,2023

5.3 RECOMENDAÇÕES DE INFRAESTRUTURA RESILIENTE

Para se considerar uma infraestrutura como resiliente, principalmente no setor de recursos hídricos, a componente do risco climático deve ser incorporada tanto em aspectos constitutivos do empreendimento, quanto nas perspectivas de planejamento e gerenciamento do serviço de adução de água. Apesar das incertezas associadas às projeções de clima futuro, a análise de padrões recentes confirma as tendências anunciadas, indicando com certa confiança a probabilidade elevada de aumento dos riscos associados a maior variabilidade climática. Caso os riscos climáticos não sejam agregados aos processos clássicos de análise de risco conduzidos para empreendimentos, haverá maior vulnerabilidade a aumentos de falhas na operação e prestação dos serviços previstos. Assim, a resiliência de uma infraestrutura aumenta na medida em que riscos associados a mudança do clima, antes negligenciados, são identificados, classificados e discutidos a partir de possíveis medidas de mitigação e adaptação às novas condições que se apresentam. Por conta da existência de riscos crônicos e agudos no contexto do PISF, o gerenciamento do risco climático, com fins de aumento da resiliência do empreendimento, deve abranger diferentes escalas temporais (sazonal, interanual e multidecadal), evitando o agravamento de crises associadas a condições de clima extremo, que por sua vez resultam em crises sociais e danos às infraestruturas (CGEE, 2012). No caso do PISF, a promoção de resiliência passa pelo entendimento de sua complexidade enquanto hidrossistema socionatural, onde convergem fatores ambientais, políticos e econômicos, cada vez mais expostos a componentes de imprevisibilidade (CGEE, 2012).

A promessa do PISF de levar água ao semiárido também exerce papel indutor de aumento das demandas por irrigação, consumo este que dificilmente poderá ser plenamente atendido em caráter constante, principalmente no contexto da mudança do clima, frustrando expectativas de desenvolvimento regional.

Outro ponto de atenção está relacionado a eficiência da operação e do sistema de adução de água bruta. Apesar das perdas de água serem intrínsecas a esse tipo de empreendimento, principalmente no contexto do semiárido onde a perenização de leitos naturais demanda mais água para a saturação do solo seco, aproximadamente 24,63% da vazão retirada é perdida no trajeto do PISF (Consórcio, 2019)[32]. As tendências apresentadas, no entanto, apontam para a elevação da temperatura e das taxas de evaporação, resultando no aumento das perdas associadas ao PISF. Neste sentido, nos pontos de entrega onde o transporte de água ocorre em leito natural, há indicativo de opção dos estados pelo recebimento de água no período da quadra chuvosa. Em um cenário de mudança do clima e acentuada escassez hídrica, é responsabilidade de um empreendimento como este buscar medidas de redução de perdas. Por outro lado, a procura por eficiência também passa pelo consumo de energia elétrica e esforços de mitigação das emissões de GEE. Nesse sentido, o gerenciamento dos riscos físicos e de transição se conectam: a instalação de sistemas de energia solar reduz não só as emissões do PISF, mas conferem menor dependência do SIN e, portanto, maior resiliência ao empreendimento.

A avaliação custo-benefício de medidas de adaptação para a bacia do Piancó-Piranhas-Açu, no Rio Grande do Norte, identificou o PISF como a medida mais custo-benéfica dentre as alternativas consideradas,

[32] *Consórcio. (2019). Modelagem PISF - Relatório de Avaliação Econômico-Financeira (1392-EGC-1-EC-RT-0001-R2). Consórcio Engecorps - Moysés&Pires - Ceres*.

representando a intervenção mais efetiva para a redução dos déficits hídricos na região (FGVces, 2018a)[33]. O estudo concluiu, no entanto, que nenhuma medida sozinha, nem a transferência de água em volumes significativos, é suficiente para garantir o abastecimento de toda a população espalhada pela bacia, que apresentam contextos e demandas de atendimento diferentes entre si. Como colocado, "segurança hídrica implica em diversidade de fontes e redundância de estruturas" (FGVces, 2018a) e a implantação de políticas abrangentes que garantam o abastecimento a partir de diferentes frentes contribui para a resiliência do empreendimento, reduzindo os riscos associados a crises hídricas e sociais.

A partir do exposto, são apresentadas, no Quadro 5-7, recomendações prioritárias e respectivos responsáveis (Governo Federal, Concessionário ou Compartilhada) para que o PISF se torne uma infraestrutura resiliente:

QUADRO 5-7: RECOMENDAÇÕES PRIORITÁRIAS E RESPONSÁVEIS

RECOMENDAÇÃO	RESPONSABILIDADE
Refinamento dos riscos climáticos identificados para o PISF e condução de análises periódicas para atualização dos resultados.	Concessionário
Avaliação contínua das novas condições de não-estacionariedade das séries de padrões hidrometeorológicos.	Concessionário
Planos de gestão de períodos de seca tão refinados quanto os atualmente existentes para os períodos de cheia.	Compartilhada
Gerenciamento dos conflitos pelo uso da água, incluindo mecanismos de participação pública.	Governo Federal e Estados
Consolidação e manutenção de instrumentos ligados ao controle da demanda por água, incluindo a outorga, medidas de fiscalização e a cobrança pelo uso da água.	Governo Federal e CBHs
Planos de adaptação e gerenciamento do risco climático específicos para linhas de transmissão e distribuição.	Compartilhada
Garantia de implantações dos sistemas de atendimento das populações rurais difusas.	Governo Federal
Consolidação do arcabouço de governança e gestão do PISF.	Governo Federal e Estados
Otimização da operação e da alocação de água nas bacias receptoras.	Compartilhada

As recomendações que acarretam custos adicionais para o futuro concessionário do PISF, sejam sob sua exclusiva responsabilidade ou com responsabilidade compartilhada com o Governo Federal são dimensionadas e precificadas no Tomo V – Investimentos, Operação e Manutenção.

[33] *FGVces. (2018a). Análise custo-benefício de medidas de adaptação à mudança do clima: Trajetórias da aplicação na bacia hidrográfica dos rios Piancó-Piranhas-Açu (Relatório de aprofundamento dos resultados da ACB: Análise de indicadores). Centro de Estudos Em Sustentabilidade Da Escola de Administração de Empresas de São Paulo Da Fundação Getulio Vargas, 134*.