

META II FORMAÇÃO DE PREÇO

PRODUTO e.1.r

Plano de trabalho

SDP N°: BR-CCEE-TDR-14-21-PRECO-CS-QBS

Estudo sobre a formação de preço de energia elétrica de curto prazo: uma análise do mercado brasileiro



BANCO MUNDIAL
BIRD • AID | GRUPO BANCO MUNDIAL



Conteúdo

1. Introdução	1
1.1. Motivação	1
1.2. Objetivos do projeto	2
1.3. Revisão Bibliográfica	3
1.4. Objetivos deste relatório	5
1.5. Estrutura deste relatório	5
2. Visão geral do projeto	6
2.1. Abordagem técnica e metodológica	6
2.2. Entregáveis	9
2.3. Cronograma	10
3. Equipe e organização	12
3.1. O grupo consultor	12
3.2. Frentes de trabalho	13
3.3. Paradigmas para o acompanhamento	13
4. Detalhamento dos Entregáveis	16
4.1. Entregáveis relatório	16
4.2. Entregáveis evento	50
4.3. Entregáveis software	56
5. Conclusões e próximos passos	67
6. Referências Bibliográficas	68

1. Introdução

1.1. MOTIVAÇÃO

A definição da ordem de acionamento dos recursos de geração (“despacho”) com base nos custos de produção dos geradores foi uma escolha feita no final da década de 90 decorrente de características específicas do sistema elétrico brasileiro: a forte predominância hidroelétrica com grandes reservatórios em cascata, que deu origem a preocupações com a “otimização do sistema”; e a presença de várias empresas estatais compartilhando as mesmas cascatas, que deu origem a preocupações com o exercício de poder de mercado. Com esta escolha, o país adotou um cálculo centralizado dos custos de oportunidade associados à água armazenada nos reservatórios, através de modelos matemáticos.

Desta forma, os produtores hidroelétricos – que em 2022 responderam por aproximadamente 60% da matriz elétrica brasileira (ONS, 2023) – não tem autonomia para gerenciar o uso dos seus recursos, isto é, a capacidade de produção das usinas hidroelétricas é “ofertada” centralizadamente pelo Operador Nacional do Sistema com base nos respectivos custos de oportunidade calculados de forma centralizada pelo mesmo. Estes custos de oportunidade são a principal referência para o cálculo do preço ao qual são “liquidadas” todas as transações de energia de curto prazo do SIN realizadas pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). Este preço é conhecido como Preço de Liquidação de Diferenças (PLD). O PLD é baseado no despacho definido pelos modelos computacionais em um processo *ex ante*, ou seja, é apurado com as informações previstas, anteriores à operação real do sistema, considerando os valores de disponibilidades declaradas de geração e a demanda prevista para cada submercado (CCEE, 2023a).

Em 2019, por meio da Portaria MME Nº 403 (Ministério de Minas e Energia, 2019b) foi instituído o Comitê de Implantação da Modernização do Setor Elétrico (CIM) cujo objetivo é implementar medidas de curto, médio e longo prazo para modernização do setor. Em 1º de janeiro de 2021, dentro deste processo de modernização, o PLD passou a ser calculado diariamente em base horária para cada um dos submercados através do modelo computacional DESSEM. Buscando um aprimoramento contínuo dos modelos, foi criada então a *Comissão Permanente para Análise de Metodologias e Programas Computacionais do Setor Elétrico* (CPAMP) cuja finalidade é garantir a coerência e a integração das metodologias e programas computacionais utilizados pelo Ministério de Minas e Energia (MME), Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e Operador Nacional do Sistema (ONS). No que se diz respeito ao mecanismo de formação de preço por custo (ou modelo), este tem evoluído significativamente nos últimos anos por meio das iniciativas da CPAMP. Assim, recomendou-se que sejam avaliados quais são os aspectos metodológicos que requerem aperfeiçoamento na atual cadeia de modelos para formação de preço por custo.

O atual mecanismo de formação de preço possui o desafio de representar adequadamente toda a complexidade do problema de operação de sistemas hidrotérmicos de grande porte e a gestão centralizada dos reservatórios muitas vezes produz questionamentos dos agentes quanto à gestão do “risco hidrológico” associado ao atendimento de seus contratos. Além disso, tem-se observado um crescimento exponencial das fontes intermitentes na matriz energética brasileira, o que adiciona uma complexidade ao atual mecanismo de formação de preço, ainda mais com o também exponencial

aumento da geração distribuída. Esses fatores ainda carecem de uma representação específica no atual mecanismo de formação de preços por custo (modelo).

A CCEE, com o apoio do Banco Mundial, tomou a iniciativa de estruturar um amplo projeto para apresentar um diagnóstico do atual mecanismo de formação de preço brasileiro e propor melhorias. A empresa PSR foi selecionada em licitação, junto com um consórcio de profissionais e instituições parceiras, para prestar os serviços de consultoria para o **Estudo sobre a formação de preço de energia elétrica de curto prazo: uma análise do mercado brasileiro**.

1.2. OBJETIVOS DO PROJETO

O escopo deste projeto inclui:

1. Indicar quais seriam os avanços necessários para promover maior eficiência econômica no uso dos recursos energéticos e na sinalização econômica dada pelo preço de curto prazo.
2. Avaliar as vantagens e desvantagens entre os mecanismos de formação de preço por custo e de formação de preço por oferta no contexto do setor elétrico brasileiro, baseando-se em análises teóricas, experiências internacionais e em testes computacionais.
3. Indicar detalhadamente o melhor arranjo para o mercado brasileiro no caso de eventual adoção do mecanismo de formação de preço por oferta. Indicar, inclusive, as adequações necessárias ao arranjo do ambiente comercial, regulatório e quais seriam as melhores práticas empresariais.

Além disso, é importante que o projeto enderece pontos nevrálgicos do SIN, no que tange:

- A harmonia/otimização na operação das usinas hidrelétricas;
- Mitigação do poder de mercado (concentração vertical e horizontal);
- A confiabilidade do suprimento de energia no longo prazo;
- A participação ativa da demanda.

Assim, os objetivos específicos do projeto são:

- Aprofundar o conhecimento setorial sobre os mecanismos de formação de preço, por meio de workshops e treinamentos específicos;
- Aprimorar a eficiência econômica do sinal de preço do setor elétrico brasileiro;
- Mitigar a volatilidade de preços;
- Reduzir os custos totais de operação;
- Incentivar a atratividade de investimentos para o setor elétrico;
- Apresentar um diagnóstico do atual mecanismo de formação de preço por custo (modelo) brasileiro no tocante à eficiência do uso de recursos e dos sinais de preço;
- Propor alternativas metodológicas para melhoria do sinal de preços caso seja mantido o paradigma de formação de preço por custo (modelo) no Brasil;
- Avaliação crítica do mecanismo de formação de preço por oferta no cenário mundial, principalmente em países com predominância hidrelétrica;
- Propor uma metodologia de formação de preços por oferta que atenda as particularidades do setor elétrico brasileiro e que possa conviver com o despacho físico das usinas hidrelétricas. Na proposta, o despacho comercial associado ao preço da energia elétrica (PLD) passa a definir o

despacho físico, sujeito a redespacho por parte do operador para o melhor funcionamento do sistema (nominção pelo mercado);

- Indicar o arranjo mais adequado para mitigar o poder de mercado;
- Propor um mecanismo para o adequado gerenciamento de risco sistêmico de suprimento considerando o ambiente de preço por oferta;
- Desenvolver ferramentas que permitam avaliar os impactos que podem decorrer de uma eventual migração do mecanismo de formação de preço por custo (modelo) para o mecanismo de formação de preço por oferta;
- Apresentar adequados tratamentos para os contratos legados;
- Apresentar um diagnóstico sobre a consideração direta ou indireta, no processo de formação do preço de energia elétrica de curto prazo, das externalidades associadas aos impactos socioambientais com base em experiências internacionais, de modo a priorizar fontes de geração de menor impacto potencial.

1.3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Em entregáveis posteriores será realizada uma ampla revisão bibliográfica acerca de mecanismos de formação de preços. Vale, entretanto, uma breve introdução ao tema, com o objetivo de contextualizar e respaldar a importância deste Estudo para o aperfeiçoamento do mercado elétrico brasileiro.

Até a década de 1980, grande parte dos mercados elétricos internacionais continha uma única empresa, geralmente estatal ou fortemente regulada pelo Estado, controlando a geração, transmissão e distribuição de energia (Luiz Augusto Nóbrega Barroso, 2006). A quebra com este modelo de mercados elétricos monopolísticos ocorreu pioneiramente no Chile, em 1982 (Muñoz et al., 2020), e no Reino Unido, em 1989 (R. J. Green & Newbery, 1992). Embora o objetivo comum fosse introduzir competição no mercado de geração elétrica, os dois países seguiram caminhos muito diferentes. No Chile, os geradores deveriam apresentar seus custos de produção a uma entidade reguladora, que seriam auditados para garantir que os produtores fossem remunerados aos custos efetivamente incorridos. No Reino Unido, os geradores apresentariam regularmente ofertas de preço para a venda de eletricidade e as ofertas mais competitivas seriam selecionadas para atender à demanda. A competição – e não auditorias – pressionariam os geradores a declararem custos próximos aos reais.

Buscando maior eficiência e atrair investimentos, diversos países reformaram seus mercados elétricos nas décadas seguintes. O modelo chileno – o paradigma de formação de preços e despacho baseado em custos – foi seguido por grande parte dos mercados elétricos latinos, incluindo o Brasil, motivados, ao menos em parte, pela fragilidade de suas redes de transmissão, alta concentração de mercado e predominância hidrelétrica (Wolak, 2003a). Já o modelo britânico – o paradigma de formação de preços e despacho baseado em ofertas – foi amplamente adotado no restante da Europa e Estados Unidos.

O movimento de reforma foi acompanhado por importantes avanços teóricos no entendimento do mercado elétrico. Em 1982, Michael C. Caramanis, Roger E. Bohn e Fred C. Schweppe (1982) lançaram um artigo descrevendo um “novo conceito de precificação de energia, o *preço spot*”. Tal trabalho seria seguido do livro *Spot Pricing of Electricity*, publicado em 1988 (Schweppe et al., 1988), que discute a teoria e questões associadas à implementação de um mercado de energia baseado no “preço spot”.

Desde então, a literatura acerca do tema de formação de preços e desenho de mecanismos associados tem sido prolífica. Vários trabalhos mostraram como a competição no mercado de geração podem levar a resultados eficientes, desde que cuidados sejam tomados com relação ao poder de mercado (R. Green, 2000; Gross & Finlay, 2000); outros se tornaram referências para o desenho de mercados de eletricidade (Chao & Wilson, 2001; Stoft, 2002; Wilson, 1999). Há ainda muitas análises teóricas acerca de experiências de mercados específicos, por exemplo, para os mercados norte-americanos (Hogan, 2016; Joskow & Kahn, 2002; Wolak, 2003b), europeus (Boisseleau, 2004), para a Nova Zelândia (Wolak, 2009), e para o Chile (Muñoz et al., 2020). Estes trabalhos demonstram que mesmo em mercados consolidados, há espaço para aperfeiçoar o funcionamento do mercado e trazer melhor eficiência do sinal de preços.

Mais recentemente, com a crescente inserção das fontes eólica e solar nas matrizes elétricas mundiais, a tendência à descentralização de recursos, e avanços nas tecnologias de armazenamento de energia e eletrificação da economia, o tema da precificação da energia ganhou novo impulso na literatura (Ela et al., 2014; Pérez-Arriaga et al., 2016). Tais temas também impulsionaram discussões e mudanças em diversos países. No mercado da Califórnia (CAISO), por exemplo, discutiu-se recentemente possíveis melhorias no mercado do dia seguinte, como a introdução de novos produtos de reserva para aumentar a flexibilidade do sistema (California ISO, 2023). Na Colômbia, foi realizado em 2019 um amplo estudo para adequar o mercado à transição energética mundial, nomeado “Missão de Transformação Energética” (Corredor et al., 2020). Outros estudos de aperfeiçoamento do sinal de preços foram feitos no mercado ERCOT do Texas (Hogan & Pope, 2017) e no chileno (Vinken Dictuc, 2021).

No Brasil, o movimento se refletiu na adoção, nos últimos anos, do *software* DESSEM e do PLD horário (Ministério de Minas e Energia, 2019a) e em diversas discussões e trabalhos acerca da modernização do setor. Diversos trabalhos recentes contemplaram a possibilidade de que a migração para um modelo de formação de preços baseado em ofertas aumente a eficiência do mercado brasileiro, tais como Calabria et al. (2014), GT Modernização do Setor Elétrico (2019), Nazaré et al. (2019), PSR (2021) e Resende & Cunha (2022). Vale destacar que essa ideia remonta ao Comitê de Revitalização do Setor Elétrico de 2002 (Comitê de Revitalização, 2002). Esses trabalhos também ressaltam que a predominância hidrelétrica da matriz brasileira deve ser levada em consideração em um eventual desenho de mercado por ofertas para o Brasil, pois seria necessário criar um mecanismo para minimizar o efeito das externalidades causadas pelo compartilhamento de cascatas por diferentes empresas.

Sendo também um dos objetivos deste projeto a simulação computacional de um mercado elétrico baseado em oferta dos agentes, vale destacar também um pouco dessa literatura. Logo após a liberalização do mercado elétrico britânico em 1989, temos o que é possivelmente o primeiro exercício computacional desse tipo em R.J Green & Newberry (1992). A simplicidade do mercado elétrico inglês na época (essencialmente um duopólio térmico) facilitava a análise. Posteriormente, modelos de programação matemática mais complexos foram propostos (Baldick et al., 2004; Hobbs et al., 2000; Metzler et al., 2003). Trabalhos como Luiz Augusto N. Barroso et al. (2002), Flach et al. (2010) e Garcia & Chabar (2016) trataram do complexo problema de computar a oferta ótima de usinas hidrelétricas em equilíbrio. Em Chen et al. (2022), realiza-se um levantamento das mais recentes pesquisas na área, destacando avanços das técnicas computacionais e matemáticas, além da representação de temas emergentes: a entrada de novos participantes (recursos descentralizados, renováveis e de armazenamento) e criação de novos produtos, instrumentos financeiros e mercados.

1.4. OBJETIVOS DESTE RELATÓRIO

Este relatório corresponde ao primeiro entregável do projeto. Este Plano de Trabalho tem como objetivo contextualizar o projeto e apresentar seus objetivos e as etapas previstas para alcançá-los, demonstrando alinhamento com a proposta realizada pelos consultores. Apresentam-se elementos concretos e em um nível de detalhe suficiente para auxiliar no planejamento, organização e monitoramento do projeto.

Os capítulos seguintes apresentarão a organização das etapas do projeto e da equipe consultora, os entregáveis previstos e cronograma para cumpri-los, a descrição dos formatos para acompanhamento das atividades pela contratante e pela sociedade, além da abordagem geral que será adotada ao longo do projeto.

1.5. ESTRUTURA DESTE RELATÓRIO

O relatório está organizado nos seguintes capítulos, além desta introdução:

- O Capítulo 2 apresenta uma visão geral do projeto, incluindo a abordagem técnica e metodológica adotada, uma lista dos entregáveis previstos e o cronograma de atividades;
- O Capítulo 3 apresenta o grupo consultor e as frentes de trabalho nas quais a equipe está organizada;
- O Capítulo 4 apresenta um detalhamento de cada um dos 23 entregáveis previstos neste projeto;
- O Capítulo 5 conclui.

2. Visão geral do projeto

2.1. ABORDAGEM TÉCNICA E METODOLÓGICA

2.1.1. PONTO DE PARTIDA

Parte dos consultores que formam a “equipe núcleo” do presente trabalho (a PSR, pesquisadores do IIT e PUC-Rio) participaram da elaboração do projeto de P&D Aneel PD-00403-0050/2020 (PSR, 2021), intitulado “Propostas de metodologias para a formação de preços por oferta no Brasil”, financiado pela Engie com contribuições ativas do ONS e da CCEE (além de participação da EPE, MME e outras instituições em reuniões de acompanhamento e workshops). Esse projeto de P&D foi iniciado em junho de 2020 e foi finalizado recentemente – os principais relatórios do trabalho estão publicados no Portal do projeto (www.precoporoferta.com.br). O P&D possuía diversos objetivos em comum com o presente projeto. Entre eles, (i) a elaboração de desenho de mecanismos para a formação de preços baseada em ofertas no Brasil, (ii) uma análise de benchmarking internacional, e (iii) o desenvolvimento de softwares para emular o mecanismo de preços por oferta.

Pretende-se aproveitar esta experiência dos consultores como “ponto de partida” deste trabalho. Os consultores têm todo o interesse em ser transparentes neste processo, utilizando a oportunidade do presente trabalho para trazer aprofundamentos e saltos de qualidade sobre os elementos discutidos no projeto de P&D anterior, inclusive abrindo espaço para repensar totalmente ou parcialmente diferentes escolhas de desenho, com ampla participação da sociedade e de expertos internacionais. A possibilidade de partir de um ponto mais avançado para as discussões e aprofundamentos que serão construídos para o presente projeto permite ao menos que pontos de convergência e sinergia com o trabalho anterior sejam identificados rapidamente e explorados da forma mais eficiente possível, ainda que sem prejuízo de fomentar uma discussão independente e aprofundamento no âmbito deste novo projeto.

Nesse sentido, o enfoque deste trabalho é agregar valor ao país com conteúdo inédito, com ampliação do escopo e aprofundamento das análises de estudos anteriores.

2.1.2. FONTES DE INFORMAÇÃO

O principal objetivo deste projeto é realizar um diagnóstico sobre o mecanismo brasileiro de formação de preços e despacho e produzir recomendações para seu aprimoramento, analisando a possibilidade de migração para um mecanismo baseado em ofertas dos agentes. Para isso, as fontes utilizadas serão:

- **Análises teóricas acerca de desenhos de mercados elétricos.** A literatura sobre o tema é extensa e em constante evolução. Os consultores realizarão um levantamento de trabalhos clássicos e recentes sobre o tema.
- **Análise de experiências internacionais.** Estão previstos a produção de relatórios analisando a experiência de outros mercados com mecanismos de formação de preços. Além disso, haverá contato direto com entidades (reguladoras, operadores do sistema, operadores do mercado) e consultores de outros países para discutir metodologias e desafios de implementação de um mecanismo de formação de preços. Estão previstas, inclusive, visitas técnicas acompanhadas à Noruega, América Central e Colômbia – sistemas com diferentes realidades, mas com ampla importância de recursos hídricos na matriz e da integração regional. Vale destacar também a

presença no grupo consultor de empresas internacionais – Nordpool Group e N-Side – e do Instituto de Pesquisa em Tecnologia (IIT) da *Universidad Pontificia Comillas* em Madrid.

- **Consultas à sociedade.** Espera-se uma comunicação intensa e envolvimento da sociedade em assuntos relacionados à formação de preço, crucial para a modernização do setor, visando dar publicidade e transparência ao projeto. O esforço de comunicação é ilustrado em particular pelos 5 workshops previstos. O primeiro deles, logo ao início do projeto, tem o intuito de captar as percepções da sociedade acerca do tema de formação de preços e despacho. Os workshops seguintes serão para divulgação e obtenção de *feedback* acerca do trabalho desenvolvido e trazer a sociedade para as discussões de aprimoramento do mercado. Todos os relatórios produzidos serão públicos e disponibilizados em Portal Web, o qual terá meios para comunicação com a equipe de desenvolvimento do trabalho.
- **Consulta a especialistas.** Além dos especialistas internacionais anteriormente citados, destaque-se na equipe consultora também especialistas brasileiros, que conhecem profundamente a realidade do país e do tema em questão. Há um misto de especialistas com viés mais acadêmico (com professores da PUC-Rio e da *Universidad Pontificia Comillas*) e com viés mais prático e empresarial (representados por especialistas da PSR, Nordpool Group, N-Side e pelo também professor Edvaldo Santana). Espera-se contar também com o feedback dos especialistas da parte contratante ao longo das reuniões de acompanhamento e entregas do projeto. A riqueza dos conhecimentos e visões dos especialistas envolvidos agregará *insights* factuais e pragmáticos da experiência nacional e internacional e suscitará debates sobre as possíveis escolhas de desenho para o mercado elétrico brasileiro. Em particular, será coletada a opinião dos especialistas (de forma anônima em formato de *survey*) acerca da proposta de mercado baseado em ofertas construída sob o P&D Aneel PD-00403-0050/2020.
- **Simulações computacionais.** Serão desenvolvidos no âmbito do projeto softwares para simulação do funcionamento de mercados elétricos baseados em ofertas dos agentes. O emprego desses softwares permitirá obter *insights* acerca dos impactos de eventual migração do mecanismo de formação de preço atual para o de formação de preço por oferta, além de avaliar recomendações de desenho de mercado. Esses softwares também serão usados para realizar *jogos de mercado*, um “experimento de laboratório” em que cada participante submete ofertas como se fosse uma empresa atuando no mercado elétrico (seja uma comercializadora, uma proprietária de ativos de geração, ou uma empresa integrada de geração para serviço de determinado mercado regulado). Tais experimentos oferecem informações sobre o comportamento dos agentes, e se há diferenças relevantes entre grupos de participantes com diferentes características (por exemplo, agentes de instituições públicas VS privadas), que podem afetar as recomendações de desenho, especialmente de mecanismos para monitoramento e mitigação de poder de mercado.

2.1.3. CAPACITAÇÃO TÉCNICA E HUMANA

Este projeto prevê investir fortemente na capacitação dos colaboradores do projeto, das instituições brasileiras e de outros agentes do setor elétrico, de modo a fomentar o desenvolvimento científico e desdobramentos deste trabalho. Destacam-se as seguintes atividades:

2.1.3.1. TREINAMENTO DAS INSTITUIÇÕES DO SETOR

Dentre as atividades do projeto, está a realização de treinamento em desenho de mercados elétricos, a ser ministrado para participantes que serão selecionados pela parte contratante (com foco em

colaboradores da CCEE e outras instituições do setor elétrico brasileiro). Parte destes participantes participaria também nas visitas técnicas internacionais ao Nord Pool, Colômbia e América Central (conforme descrito anteriormente), que complementariam a atividade de capacitação. Para mais detalhes, ver seções 4.2.2 e 4.2.3.

Assim, desenvolvem-se quadros institucionais capazes de contribuir para o aprimoramento do mecanismo de mercado brasileiro e levar as discussões trazidas pelo projeto adiante, após o seu término.

2.1.3.2. DISSEMINAÇÃO DE CONHECIMENTO SETORIAL

Como descrito anteriormente, estão previstos cinco workshops com ampla participação de agentes e instituições setoriais. Nestes workshops, serão apresentados os resultados do trabalho, envolvendo a introdução a temas de desenho de mercado, os diagnósticos elaborados acerca dos mercados brasileiro e internacionais e as possíveis soluções a problemas identificados no mercado brasileiro. Assim, esses workshops aprofundarão o conhecimento setorial sobre a formação do preço da energia e familiarizarão os agentes do setor a novos mecanismos que possam vir a ser implementados – o que pode inclusive facilitar eventual migração para um mecanismo baseado em ofertas.

Também está prevista a realização de *jogos de mercado* envolvendo pequenos grupos, outra oportunidade para que os agentes do setor se familiarizem com o funcionamento de um mercado baseado em ofertas. Jogos de mercado são sessões que emulam de forma realista as circunstâncias que os agentes enfrentariam no seu dia a dia em um contexto de oferta de preços: a disponibilidade de informação limitada, a necessidade de tomar uma decisão sob incerteza, e o formato de curva de oferta que os agentes devem usar para comunicar suas preferências. Os jogos de mercado também representam uma oportunidade para o operador emular uma “operação sombra” do mercado em um ambiente controlado.

2.1.3.3. DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE EM CÓDIGO ABERTO

Os softwares produzidos ao longo deste trabalho estarão em **código aberto**, com uso de *solvers* de otimização gratuitos ou de desenvolvimento nacional, e ficarão disponíveis em repositório *online* para o público geral. Assim, estudantes e pesquisadores poderão contribuir para o desenvolvimento da ferramenta e realizar estudos e aplicações, mesmo após o término do projeto. Essas ferramentas podem ser utilizadas também pelas instituições brasileiras para fortalecer seu entendimento e avaliar propostas de aperfeiçoamento do mercado no futuro. Para mais detalhes, ver seção 4.3.

2.1.3.4. FOMENTO À PESQUISA

Há a intenção de que pesquisadores envolvidos no projeto participem em congressos internacionais e eventos do setor elétrico, para apresentar elementos da proposta sendo discutida. Além de dar mais visibilidade à proposta de desenho de mecanismo, esta participação em eventos traria como benefício adicional a possibilidade de se obter um *peer review* preliminar da comunidade acadêmica.

Além disso, uma iniciativa proposta para fomentar os desdobramentos científicos deste trabalho é o financiamento do desenvolvimento de pacotes de software de otimização matemática em código aberto para difusão ampla e uso gratuito. Foram selecionados previamente como potenciais receptores destes incentivos:

- A equipe desenvolvedora do solver *open-source* HiGHS, que atinge excelentes padrões de qualidade (muito acima de outros solvers open source) e que representa uma peça importante no desenvolvimento de infraestrutura em código aberto para a solução eficiente de problemas de otimização complexos.
- A equipe desenvolvedora do pacote de otimização JuMP, desenvolvido em linguagem Julia e capaz de trazer ganhos importantes em termos de abstração da linguagem algébrica para a representação de problemas de otimização e reaproveitamento de código (particularmente no que diz respeito à portabilidade entre diferentes *solvers* de otimização, comerciais ou gratuitos).

A equipe consultora fortemente recomenda o uso desse *framework* base (programação em JuMP e uso do *solver* HiGHS) para o desenvolvimento da ferramenta que será desenvolvida e disponibilizada publicamente no âmbito do presente trabalho – de forma que o investimento proposto nas equipes externas de desenvolvimento de *software* em código aberto trará um benefício direto para a qualidade do produto final construído neste trabalho. Além disto, a aproximação proposta entre a equipe do projeto e as equipes desenvolvedoras destes pacotes de software permitirá que seja despendida atenção especial à estrutura de problema que é de interesse para o projeto, o que poderá eventualmente levar à incorporação de aprimoramentos nos próprios pacotes HiGHS e JuMP.

2.2. ENTREGÁVEIS

Os entregáveis deste projeto estão classificadas nos 11 grupos especificados nos Termos de Referência, a saber:

- Grupo 1: Plano de Trabalho;
- Grupo 2: Diagnóstico sobre mecanismos de formação de preço por custo;
- Grupo 3: Diagnóstico sobre o mecanismo de formação de preço por oferta;
- Grupo 4: Avaliação das vantagens e desvantagens dos mecanismos de formação de preço;
- Grupo 5: Desenhos de mercado e mecanismos de formação de preço;
- Grupo 6: Proposição de um mecanismo de formação de preço por oferta;
- Grupo 7: Monitoramento de poder de mercado;
- Grupo 8: Gerenciamento de risco sistêmico;
- Grupo 9: Ferramentas para avaliação do impacto da migração de mecanismos de preço por modelo para preço por oferta;
- Grupo 10: Tratamento dos contratos legados;
- Grupo 11: Cronograma de implantação.

Estão previstos 23 entregáveis, divididos em:

- 11 relatórios, contando com este Plano de Trabalho;
- 8 eventos, compostos por 5 workshops com a sociedade e 3 eventos internos ou de participação exclusiva – o treinamento em desenho de mercados, a realização de jogos de mercado e as visitas técnicas internacionais;
- 4 entregáveis de *software*, incluindo ferramenta computacional e manual descrevendo a forma de uso e metodologia empregada.

Usaremos a abreviação “e.X.Y” para identificar os entregáveis, com X representando o grupo ao qual o entregável pertence e Y sendo um identificador do entregável, que pode ser “s” se for um entregável de *software*, “w” se for um evento, ou “r” se for um relatório, seguido de um número, se houver mais de um entregável do mesmo formato naquele grupo. Por exemplo, “e.2.r2” é o segundo relatório do grupo 2,

“e.2.w” é o (único) evento do grupo 2, “e.8.s” é o (único) *software* a ser entregue no grupo 8. Os 23 entregáveis são listados na tabela seguinte – em que também são apontados nomes curtos para os entregáveis, usados no cronograma apresentado na seção 2.3 e para referências futuras quando for conveniente.

Tabela 1 – Síntese dos entregáveis previstos no projeto

#	Grupo	Tipo	Entregável	Nome curto
1.r	1	Relatório	Plano de trabalho	Plano de trabalho
2.r1	2	Relatório	Diagnóstico preço por custo	Diagnóstico preço por custo
2.r2		Relatório	Propostas preço por custo	Propostas preço por custo
2.w		Evento	WS2: Aprimoramentos formação de preço	WS2: Preço por custo
3.r	3	Relatório	Diagnóstico preço por oferta	Diagnóstico preço por oferta
4.r	4	Relatório	Vantagens e desvantagens	Vantagens e desvantagens
4.w		Evento	WS1: Percepções e condicionantes	WS1: Condicionantes
5.w1	5	Evento	Treinamento desenho de mercado	Treinamento
5.w2		Evento	Visitas técnicas internacionais	Visitas técnicas
6.r	6	Relatório	Proposta de mecanismo preço por oferta	Propostas preço por oferta
6.s		Software	Software: Modelo de otimização	Software de despacho
6.w		Evento	WS3: Desenho base de mercado por oferta	WS3: Preço por oferta
7.r	7	Relatório	Monitoramento de poder de mercado	Poder de mercado
7.s		Software	Software: Plataforma web	Plataforma web
7.w		Evento	Jogos de mercado	Jogos de mercado
8.r	8	Relatório	Gerenciamento de risco sistêmico	Risco sistêmico
8.s		Software	Software: Métricas de risco	Software de validações
8.w		Evento	WS4: Risco sistêmico e poder de mercado	WS4: Validações
9.r	9	Relatório	Impactos quantitativos da migração	Impactos quantitativos
9.s		Software	Software: Equilíbrio intertemporal endógeno	Software de equilíbrio
10.r	10	Relatório	Impactos regulatórios e legados	Impactos qualitativos
11.r	11	Relatório	Cronograma de implantação	Cronograma
11.w		Evento	WS5: Resultados finais e conclusões	WS5: Conclusões

Cada um dos 23 entregáveis será descrito em detalhes no capítulo 4.

2.3. CRONOGRAMA

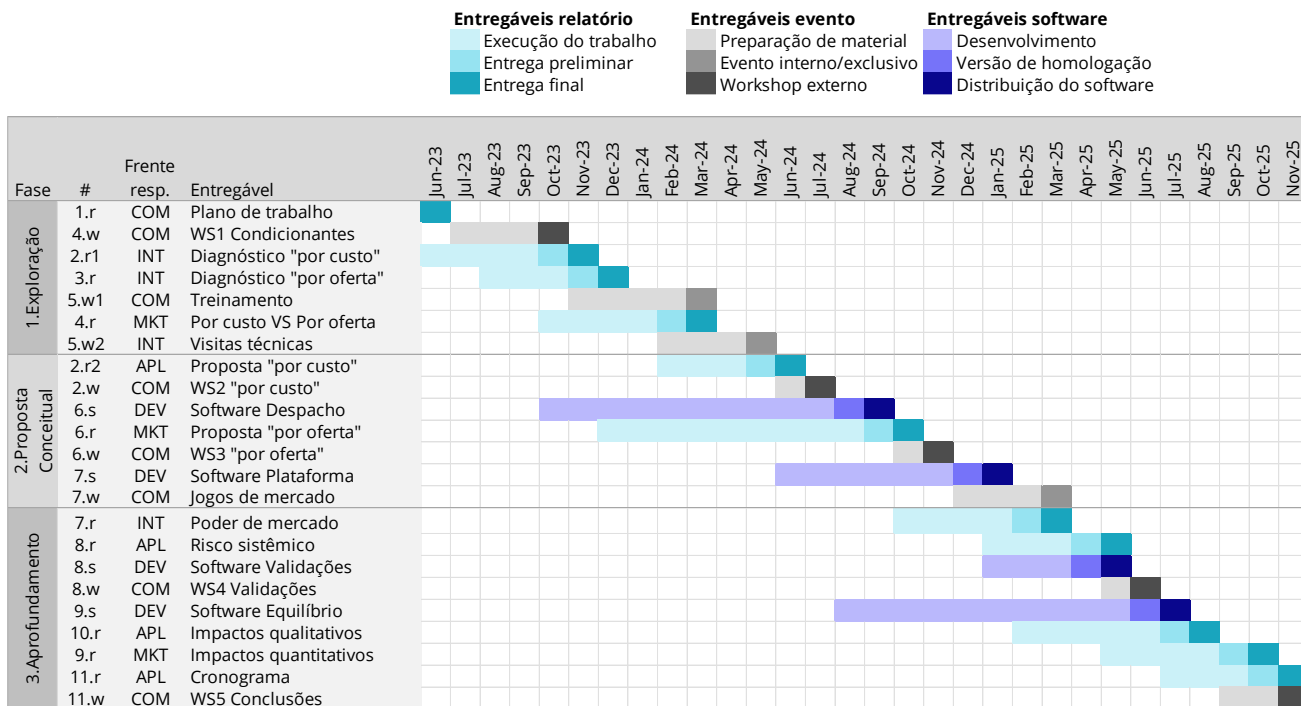
A duração estimada do projeto é de 30 meses, conforme estabelecido nos Termos de Referência, tendo início em junho de 2023 e término previsto para novembro de 2025. O sequenciamento das atividades é apresentado na tabela seguinte, incluindo datas previstas de elaboração e entrega dos:

- 11 relatórios, identificados na tabela com a cor azul claro. Foram estabelecidas uma data para a entrega preliminar e uma data para a entrega final. A expectativa é de um período de duas semanas, após a entrega preliminar, para a revisão dos relatórios pela equipe da CCEE, e de duas semanas adicionais para a atualização do relatório e incorporação das recomendações pelos consultores para produzir a versão final do Relatório.

- 4 entregáveis de software, identificados na tabela com a cor azul escuro. No mês anterior à distribuição do software e do seu respectivo manual para o público geral, será disponibilizada uma versão de homologação para a CCEE, com o intuito de que esta verifique a conformidade do entregável com os objetivos propostos neste plano de trabalho. A expectativa é de um período de um mês para a aprovação da CCEE. Após aprovação, será disponibilizada a versão inicial do *software* para uso geral. Ele estará sujeito a acompanhamento contínuo pela equipe consultora, com o lançamento de novas versões para correção de *bugs* ou adição de funcionalidades adicionais sem cronograma definido.
- 5 workshops amplos com a sociedade, identificados na tabela com a cor cinza escuro
- 3 eventos internos ou de participação exclusiva, identificados na tabela com a cor cinza mais claro. São eles: o treinamento às instituições (entregável e.5.w1), as visitas técnicas internacionais (entregável e.5.w2), e os jogos de mercado (entregável e.7.w).

Na tabela, os entregáveis foram ordenados em ordem cronológica de entrega, mas a numeração (o formato "e.X.Y") adotada permite identificar a qual grupo eles pertencem. Não foram incluídas explicitamente ao cronograma as reuniões de acompanhamento com a Contratante, embora elas estejam previstas ao longo de todo o projeto, com frequência quinzenal (exceto nos primeiros cinco meses, cada um com uma única reunião, ver seção 3.3).

Tabela 2 – Cronograma previsto para o projeto



3. Equipe e organização

3.1. O GRUPO CONSULTOR

O grupo consultor é composto pela empresa PSR, selecionada como executora e líder, e 7 empresas subcontratadas, de amplo e reconhecido conhecimento do setor elétrico, além de extensa experiência no desenvolvimento de softwares e de implementações em código aberto. A figura abaixo lista as empresas subcontratadas.

Figura 1 – Visão geral do grupo consultor



O grupo consultor possui membros com forte presença, conhecimento e experiência não apenas na América Latina e Brasil (PSR, PUC-Rio, NEAL) como na análise de mercados de eletricidade na Europa e Estados Unidos (IIT-Pontificia Universidad Comillas, Nord Pool Group e N-Side), além de um reconhecimento por sua participação em discussões de desenho de mecanismo nestes mercados. Possui ainda empresas referências mundiais no desenvolvimento e implementações em código aberto (HiGHS e JuMP) de forma a robustecer os *softwares* desenvolvidos e compartilhá-los com a sociedade.

A combinação de múltiplos especialistas nacionais e internacionais, do mundo acadêmico e industrial, trará diferentes visões para a discussão, contribuindo para uma proposta de desenho de mercado em linha com as melhores práticas internacionais, mas ao mesmo tempo adaptadas à realidade brasileira, suas especificidades e prioridades.

Além disso, o envolvimento de equipes internacionais e da PUC-Rio no desenvolvimento de *software* contribuirá não apenas para produzir um *software* mais robusto, como para atentar para questões de usabilidade do programa por usuários não diretamente envolvidos no projeto – garantindo que esta iniciativa terá amplo alcance.

O diferencial do grupo Consultor fica evidente com a referência às experiências anteriores em trabalhos relacionados. Destaca-se, em particular, o envolvimento do grupo consultor nos seguintes trabalhos:

- No P&D Aneel PD-00403-0050/2020 (intitulado “Propostas de metodologias para a formação de preços por oferta no Brasil”);
- Em diversas atividades de revisão de desenho de mercado em todo o mundo, com diferentes níveis de profundidade – particularmente envolvendo o mercado Europeu, o Vietnã, a Turquia, e o próprio Brasil;
- A experiência com uso de ferramentas como o *git* para controle de versão e desenvolvimento paralelo de softwares complexos;
- A experiência com o uso de ferramentas em código aberto e contribuições a iniciativas em código aberto.

3.2. FRENTES DE TRABALHO

Como apresentado na proposta dos consultores, a equipe é composta por profissionais de múltiplas disciplinas e altamente qualificada, formada por engenheiros, economistas, matemáticos, cientistas da computação, advogados e profissionais de marketing, muitos com títulos de mestrado e doutorado.

Para cumprir com os objetivos do trabalho, a equipe foi organizada em cinco frentes, detalhadas na tabela seguinte.

Tabela 3 – Frentes de trabalho

Frente	Responsabilidade Principal
Frente COM: Comunicação	Comunicação efetiva, tanto interna, envolvendo a padronização das informações e realização de reuniões de acompanhamento, quanto externa, com a realização de workshops e envolvimento da sociedade. Responsável também pela coordenação geral do projeto, assegurando que as demais frentes de trabalho estejam alinhadas.
Frente INT: Benchmarking internacional	Subsidiar elementos da literatura e das experiências internacionais em diferentes mercados.
Frente MKT: Fundamentos de desenho de mercado	Apresentação de propostas concretas para os mecanismos analisados e análise conjunta de elementos do contexto brasileiro e das principais lições extraídas da literatura e experiências internacionais.
Frente APL: Aplicação do desenho e realidade brasileira	Análise das particularidades do sistema brasileiro (sejam físicas, jurídicas, regulatórias, institucionais) que possam ser obstáculos à implementação e aprofundar os desdobramentos de uma transição a um mecanismo de mercado baseado em ofertas.
Frente DEV: Desenvolvimento de Software.	Desenvolvimento de um software capaz de reproduzir os elementos de desenho proposto.

Evidentemente, haverá sinergias entre as atividades de cada uma das “frentes”, e o objetivo não é que esta estrutura organizacional limite o intercâmbio entre os especialistas. Ainda que, por motivos organizacionais, esteja prevista a alocação de uma frente líder para cada um dos entregáveis do trabalho, na prática deverá haver contato e diálogo constante entre os especialistas das frentes de trabalho.

3.3. PARADIGMAS PARA O ACOMPANHAMENTO

A comunicação entre os consultores, as instituições organizadoras do projeto e o público geral será feita através de:

1. Comunicação online

- a. Trocas de email com a equipe da CCEE. A comunicação entre a contratante e o grupo consultor se daria fundamentalmente por meio dos Especialistas Principais nomeados (e mais especificamente, pelos líderes das frentes de trabalho, ver seção 3.1);
- b. Página web pública, que funcionará como hub para a comunicação e divulgação do trabalho. Conterá:
 - i. Descrição do projeto, escopo e objetivos;
 - ii. *Links* para o site da PSR, da CCEE e das instituições parceiras;

- iii. *Links* para *download* de todos os materiais elaborados que sejam tornados públicos, tanto de relatórios como *softwares*;
 - iv. Material de divulgação dos eventos do projeto (workshops, jogos de mercado, etc.) e *links* para a inscrição nos mesmos;
 - v. Respostas a perguntas frequentes (FAQs) a respeito dos paradigmas de formação de preços por custo e por oferta;
 - vi. Suporte contínuo às instituições, em particular os participantes do treinamento (entregáveis do Grupo 5);
 - vii. Meios de contato com a equipe desenvolvendo o trabalho.
 2. **Repositórios compartilhados** para gestão da informação e compartilhamento de material ao longo do projeto (relatórios, apresentações, bases de dados, planilhas eletrônicas, material bibliográfico, e outros registros). Neles serão disponibilizadas pastas detalhadas com qualquer material relevante para um melhor entendimento e acompanhamento do projeto. Os repositórios usados serão
 - a. OneDrive ou outra ferramenta similar, compartilhado com a equipe da CCEE, onde estarão todos os relatórios e apresentações produzidos ao longo do trabalho, bem como materiais de consulta que os consultores ou o cliente julgar relevante (bibliografia, planilhas auxiliares, bases de dados e afins);
 - b. Github, onde serão depositados códigos-fonte, documentação e testes automatizados da(s) ferramenta(s) a serem desenvolvidas especificamente para os entregáveis de software;
 3. **Reuniões** com a equipe da CCEE
 - a. Reuniões de acompanhamento, em formato de teleconferência ou videoconferência, para atualizações a respeito das atividades em andamento. Terão periodicidade mensal até outubro de 2023 e quinzenal de novembro de 2023 em diante. Uma reunião de acompanhamento pode ser cancelada, em comum acordo das partes contratante e contratada, se for considerada desnecessária, particularmente se estiver agendada próxima de outra reunião de apresentação de entregável, reunião extraordinária ou entregável evento.
 - b. Reuniões de apresentação de entregável, resumindo o conteúdo dos relatórios técnicos, a serem realizadas próximo à data de entrega do material ao cliente. Esta apresentação dos principais resultados de cada relatório técnico se dará em formato de teleconferência. A critério da CCEE, podem ser convidados para tais reuniões membros da EPE, MME, ONS e ANEEL.
 - c. Reuniões extraordinárias. Caso seja necessário, pode-se agendar reuniões adicionais às reuniões de acompanhamento regulares previstas.
 4. **Workshops** para apresentação do trabalho ao público geral. Estão previstos cinco workshops, três em formato presencial e dois em formato online. Os workshops são descritos em mais detalhes na seção 4.2.
 - a. **Workshop 1: Percepção da sociedade e condicionantes (presencial)**. Trará uma discussão inicial sobre os mercados baseados em custos e os mercados baseados em oferta, ancorada na experiência brasileira (que, embora corresponda a um mercado baseado em custos, possui alguns elementos similares a mercados por oferta). Serão realizadas enquetes com os participantes para coletar informação de como o setor percebe esta dicotomia entre mercados baseados em custos e em ofertas, e quais as principais condições de contorno existentes para a implementação viável de aprimoramentos ao mecanismo.

- b. **Workshop 2: Aprimoramentos ao paradigma de formação de preços (online).** É desejável trazer a participação da sociedade nas discussões de aprimoramento ao mecanismo baseado em custos – englobando também aprimoramentos que poderiam ser implementados independentemente do paradigma selecionado (baseado em custos ou ofertas). Este workshop caracterizaria o mecanismo brasileiro atual baseado em custos e levantaria propostas de solução para problemas identificados – seja dentro do paradigma de preços por custo, por oferta ou algum tipo de solução “híbrida”.
- c. **Workshop 3: Desenho base de um mercado por ofertas (presencial).** Serviria como uma introdução a alguns dos elementos da proposta de desenho conceitual construída ao longo do presente projeto, levando em conta o ponto de partida do projeto de P&D anterior e as discussões e aprofundamentos realizadas com os especialistas parceiros ao projeto.
- d. **Workshop 4: Risco sistêmico e poder de mercado (online).** Daria ênfase às preocupações legítimas do mercado acerca da gestão de risco sistêmico e mitigação de poder de mercado caso fosse implementado um mecanismo baseado em ofertas, indicando como os potenciais pontos fracos dessa implementação poderiam ser endereçados e mitigados (possivelmente com a introdução de mecanismos auxiliares). Também neste workshop seriam discutidas possíveis interações (positivas ou negativas) entre as práticas atuais do mercado elétrico brasileiro e o mercado baseado em ofertas.
- e. **Workshop 5: Resultados finais e conclusões (presencial).** Workshop final consolidando os resultados: (i) resumo dos elementos de desenho, consensos e controvérsias tratados em workshops anteriores; (ii) possível cronograma de implantação do mercado baseado em ofertas (objeto do entregável e.11.r); e (iii) análise das consequências da implantação de um mercado baseado em ofertas no Brasil.

Confirmamos que vamos seguir os requisitos para os formatos de comunicação e compartilhamento de arquivos com a parte contratante estabelecidos nos termos de referência, tais como:

- Textos em MS Word versão 2003 ou posterior;
- Planilhas, gráficos e tabelas em MS Excel versão 2003 ou posterior;
- Apresentações: MS PowerPoint versão 2003 ou posterior;
- Planilhas eletrônicas serão entregues desbloqueadas e sem restrição de edição;
- Figuras em geral em formato JPG, GIF ou BMP;
- Ferramentas computacionais: em linguagem de programação de alto nível e com garantia de boa performance como Python, Julia ou semelhante;

No Portal Web público, entretanto, relatórios e apresentações serão disponibilizados em formato não editável (pdf).

4. Detalhamento dos Entregáveis

Ao longo das subseções a seguir, serão introduzidos cada um dos 23 entregáveis previstos no presente trabalho, o conteúdo esperado, a abordagem metodológica proposta para o seu desenvolvimento e sua previsão de entrega. Os entregáveis estão divididos em três seções, correspondendo a relatórios, eventos e softwares, respectivamente.

Este capítulo é um refinamento do que já constava na proposta do consultor. As mudanças em relação à proposta e ata de negociação, seja de escopo ou prazos dos entregáveis, serão assinaladas e justificadas nas devidas seções. As mudanças de prazo realizadas para entregáveis específicos não alteraram o prazo de término do projeto (novembro de 2025). Dentro de cada uma das seções (4.1, 4.2, 4.3), os entregáveis estão apresentados em ordem cronológica da previsão de entrega.

4.1. ENTREGÁVEIS RELATÓRIO

4.1.1. [E.1.R] PLANO DE TRABALHO

NATUREZA DO PRODUTO: Relatório técnico.

INÍCIO: 1 de junho de 2023 (mês 1).

PREVISÃO DE FINALIZAÇÃO: 30 de junho de 2023 (mês 1).

HOUE ALTERAÇÃO DE ESCOPO? Não.

HOUE ALTERAÇÃO DE PRAZO? Não.

O primeiro entregável, desenvolvido ao longo do primeiro mês após a aprovação do projeto, foi a elaboração deste Plano de Trabalho detalhando as atividades que serão executadas. Como descrito na seção 1.4, o objetivo foi contextualizar o projeto e apresentar seus objetivos e as etapas previstas para alcançá-los, facilitando também o seu acompanhamento pela contratante e pela sociedade.

No âmbito deste entregável realizou-se, no dia 29 de junho, na sede da CCEE em São Paulo/SP, uma cerimônia oficial de lançamento do projeto (CCEE, 2023b). O encontro reuniu alguns membros da equipe de trabalho e autoridades da CCEE e de outras instituições do setor, com apresentações de Talita Porto (CCEE), Rodrigo Sacchi (CCEE), Luiz Barroso (PSR) e Gabriel Cunha (PSR) acerca dos objetivos, conteúdo e expectativas do projeto.

4.1.2. [E.2.R1] DIAGNÓSTICO PREÇO POR CUSTO

NATUREZA DO PRODUTO: Relatório técnico.

INÍCIO: 1 de junho de 2023 (mês 1).

PREVISÃO DE FINALIZAÇÃO: 30 de novembro de 2023 (mês 6).

HOUE ALTERAÇÃO DE ESCOPO? Não.

HOUE ALTERAÇÃO DE PRAZO? Sim, o prazo de finalização foi adiado para o mês 6.

O foco deste entregável é o diagnóstico internacional dos mecanismos de formação de preços baseados em custos (e, portanto, cuja formação de preços é dependente de modelos computacionais). Servirá de insumo para o entregável e.2.r2 (descrito na seção 4.1.5), que trará recomendações de aprimoramento

para o mecanismo de preços por custo brasileiro e para as análises comparativas entre os mecanismos de formação de preços “por custo” e “por oferta” realizadas no entregável e.4.r (seção 4.1.4) e subsequentes.

Inicialmente, o entregável e.2.r1 trará uma discussão geral sobre o paradigma de formação de preços baseada em custos, em que medida há similaridades e diferenças com o paradigma de formação de preços baseado em ofertas, e sobre a possibilidade de convergência entre esses dois caminhos aparentemente contrários.

Genericamente, pode-se identificar duas classes de modelos fundamentais comumente aceitos no setor para a tomada de decisão de despacho de centrais geradoras e definição de preços de compra e venda no mercado de eletricidade – ambos com raízes no movimento de desregulamentação dos mercados elétricos globais, a partir da década de 1980 (Luiz Augusto Nóbrega Barroso, 2006; PSR, 2021). Embora na prática não seja necessário escolher rigidamente um dos dois modelos e seja possível explorar classes de modelos mistos (como será explorado em mais detalhe nos entregáveis e.3.r e e.4.r), esta classificação é útil para algumas análises e discussões fundamentais sobre os elementos de desenho.

- No primeiro grupo, o de formação de preços por custos, os custos marginais de geração são calculados a partir de informações técnicas e econômicas de cada gerador (tais como parâmetros técnicos da usina e custos de compra de combustível), que são validadas e auditadas por um ente central. O “custo” de uma hidroelétrica é representado pelo seu valor da água, calculado por métodos computacionais amplamente documentados na literatura.
- Já no modelo de formação de preços por oferta, os agentes são livres para informar sua disposição a pagar e/ou a receber pela energia, sem necessariamente precisar corroborar essas ofertas de compra e venda com demonstrativos de que elas de fato correspondem a seus custos e características técnicas reais. Isto não impede que ainda exista algum tipo de validação em modelos baseados em ofertas (e pode-se fazer uma analogia desta prática com um modelo “híbrido”, com características intermediárias entre a formação de preços por custo e por oferta).

Pode-se demonstrar que há uma equivalência entre essas duas classes de representação (baseada em custos e baseada em ofertas) caso ambas representem a mesma realidade em termos de curvas de oferta e de demanda – e o modelo de otimização resultará em alocações mais eficientes quanto mais próxima for a representação das curvas de oferta e de demanda das curvas “reais” (R. Green, 2000; Gross & Finlay, 2000; Hammond, 1997). As curvas de oferta e demanda representadas nos dois modelos coincidirão com as curvas reais se (i) no modelo baseado em custos, os procedimentos de auditoria utilizados resultarem em *estimativas não enviesadas* das curvas de oferta e demanda (inclusive da propensão dos consumidores a aceitar um corte de energia); e se (ii) no modelo baseado em ofertas, os agentes participantes do mercado tiverem os incentivos para submeter informações verdadeiras sobre essas duas curvas. Conclui-se que, apesar deste importante ponto de convergência, a *natureza* dos desvios da idealidade enfrentados é muito diferente no despacho por custos e no despacho por preços – o que justifica a análise em separado de cada uma das estratégias.

Uma das principais componentes desta atividade de diagnóstico é a realização de um estudo de benchmarking internacional, com análise de países que aplicam despacho baseado em custos. Em particular, este levantamento deve destacar os seguintes itens (trazendo sempre que cabível paralelos e/ou contrastes com a realidade brasileira):

- Caracterização do mercado
 - Análise comparativa das características físicas fundamentais dos países selecionados, bem como elementos da sua conjuntura que o tornam mais ou menos similares ao Brasil.
 - Visão geral institucional do país, inclusive o operador do mercado, operador do sistema físico, operador da rede de transmissão, entidade com status de ministério, entidade reguladora do setor elétrico, e outros.
 - Principais desafios enfrentados pelo setor historicamente, em que medida o mecanismo baseado em custos pode ter contribuído para agravar ou mitigar estes desafios, além de discussões vigentes e/ou revisões anteriores no paradigma de formação de preços.
- Escolhas de desenho fundamentais
 - Principais escolhas de desenho de mercado (diferenças no mecanismo de formação de preços) entre os diferentes países e sua robustez (eficiência do sinal de preço). Em particular, discutir a granularidade espacial e temporal dos preços e a representação de custos não-convexos (como custos de start-up) e o seu impacto sobre o sinal de preços.
 - Iterações de mercado: discutir a existência ou não de mecanismos de liquidação múltipla (com contraste entre o mecanismo day ahead e o mecanismo real time).
 - Representação ou não de serviços ancilares e sua relação com o mercado de curto prazo – inclusive reservas de potência de curto prazo, restabelecimento (“black-start”), controle de tensão e suporte de reativo, controle de frequência, e outros serviços.
- Mecanismos auxiliares
 - Detalhamento de qual o software utilizado para a formação de preços, suas principais características metodológicas e algoritmos de solução, robustez do sistema, e detalhes de como o modelo é utilizado (por exemplo, a mesma simulação é utilizada para guiar o despacho físico e para determinar os preços de mercado? É utilizado algum modelo de suporte com funcionalidade específica?).
 - Tratamento particular das hidrelétricas: mecanismo de cálculo do valor da água, ocorrência de cascatas complexas com múltiplos proprietários, tratamento de usos múltiplos da água, tratamento de eventuais externalidades socioambientais na operação de curto prazo das hidrelétricas, e questões afins.
- Interação entre o paradigma de formação de preços e os mercados de longo prazo
 - Representação ou não de produtos de longo prazo, como um produto “lastro”, “confiabilidade”, ou “reserva de potência de longo prazo” e seu funcionamento. Diferenciações entre contratos energéticos e contratos de atendimento à ponta (frequentemente associados ao produto confiabilidade).
 - Modelo típico de contratos comercializados, suas características em termos de fluxos financeiros, portfólios típicos detidos pelos agentes (no setor de geração, no mercado livre, e no mercado regulado), e sua relação entre os contratos e os sinais econômicos passados pelos preços marginais de curto prazo.
 - Mecanismos para a promoção da expansão do sistema elétrico e sua relação com o mercado de contratos e com os sinais de preço de curto prazo.
 - Diagnóstico sobre a possibilidade de incorporação de externalidades associadas a impactos socioambientais no mecanismo de expansão, de modo a priorizar as fontes de geração de menor impacto potencial – seja como uma componente do processo de planejamento, como um produto de mercado de longo prazo, ou como um produto que afeta diretamente o processo de formação do preço de energia elétrica de curto prazo.

Nota-se que, ao longo da elaboração do relatório, poderão ser feitos aprimoramentos e reestruturações da lista acima, com o interesse de construir um *framework* que permita a comparação de países com diferentes características e a extração de lições valiosas para a realidade brasileira.

Além dos detalhamentos individuais para cada país, será construído um resumo executivo que sintetiza, de forma esquemática e comparativa, as principais características dos modelos selecionados (inclusive um comparativo com o modelo brasileiro atual). Para viabilizar esta análise comparativa, propõe-se o aprofundamento das experiências dos 5 países com paradigma de formação de preços baseada em custos a seguir, buscando selecionar uma amostra bastante variada para haja mais diferenças e contrastes:

- El Salvador: A experiência deste país é marcante por ter implementado um mecanismo de formação de preços baseado em ofertas até 2011, quando El Salvador migrou para o mecanismo atual baseado em custos (modelo) (Muñoz et al., 2020). A inclusão deste país também se deve à previsão de uma visita técnica a ser realizada no âmbito das atividades do entregável e.5.w2 (vide seção 5.3.3). Com a realização de uma pesquisa (como apresentado neste entregável e.2.r1) anterior à realização da visita técnica, se espera extrair o máximo de valor desta visita.
- Vietnã: O país passou por um recente processo de reforma e liberalização que teve como marco principal a decisão 8266/QD-BCT de 2015 (Minister of Industry and Trade, 2015). O Vietnã implementou um modelo híbrido, em que os agentes têm flexibilidade limitada para ofertar um preço próximo dos parâmetros estimados por modelo computacional. Em particular, o valor da água é calculado centralizadamente, mas as hidrelétricas podem ofertar entre 0% e 100% do valor da água no modelo atualmente vigente.
- México: O México passou por um processo de liberalização do mercado tardia em 2016 (Secretaría de Energía, 2014), e também adotou um modelo híbrido em que, embora os agentes oficialmente submetam ofertas ao mercado, as ofertas devem respeitar determinados limites. As hidrelétricas sempre ofertam o valor da água calculado por modelo, e as termelétricas podem ofertar até 110% do seu custo auditado centralizadamente.
- Chile: O Chile foi o primeiro país a passar por um processo de liberalização no seu mercado elétrico na década de 80, e implementou um mecanismo de formação de preços baseado em custos (Muñoz et al., 2020). O Chile possui uma matriz elétrica com elevada participação de hidrelétricas e um longo histórico de mercado que permitem a realização de análises valiosas.
- Coreia do Sul: Trata-se de mais um país que optou pelo paradigma de formação de preços baseada em custos, e que pelo seu histórico e trajetória bastante distintos do restante dos países selecionados contribui para enriquecer a amostra.

Portanto, este entregável possui o objetivo de analisar o paradigma de formação de preços baseada em custos teórica (de forma mais conceitual) e empiricamente (análise de experiências internacionais concretas). Para garantir maior tempo hábil para elaboração dessas análises e minimizar o risco de atrasos, optou-se por adiar o prazo de finalização em relação à proposta do consultor, uma vez que: (i) está previsto nos primeiros meses do projeto um grande investimento em sua infra-estrutura (portal público, repositórios para compartilhamento de dados, identidade visual, etc.) para maximizar seu impacto e alcance e minimizar retrabalho posterior; (ii) também por conta disso, houve o adiamento do primeiro workshop (entregável e.4.w) para o mês de outubro de 2023 (ver seção 4.2.1); (iii) há intersecção das equipes que desenvolverão o entregável e.2.r1 e o workshop e.4.w

4.1.3. [E.3.R] DIAGNÓSTICO PREÇO POR OFERTA

NATUREZA DO PRODUTO: Relatório técnico.

PREVISÃO DE INÍCIO: 1 de agosto de 2023 (mês 3).

PREVISÃO DE FINALIZAÇÃO: 31 de dezembro de 2023 (mês 7).

HOUVE ALTERAÇÃO DE ESCOPO? Sim, a análise da mitigação de poder de mercado passou para o e.7.r.

HOUVE ALTERAÇÃO DE PRAZO? Sim, o prazo de finalização foi adiado para o mês 7.

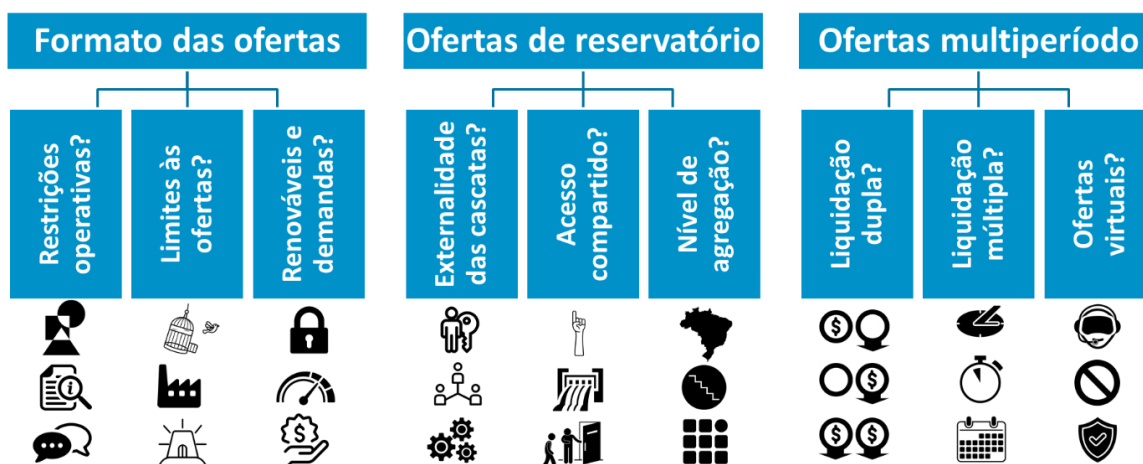
O entregável e.3.r tem dois objetivos principais: o primeiro é apresentar uma caracterização detalhada e estudo de *benchmarking* internacional de países que aplicam despacho baseado em ofertas; e o segundo é construir um *framework* robusto (ou modelo conceitual) que enderece os requisitos mínimos para a adequação de um mecanismo de preço por oferta para o mercado brasileiro. Evidentemente, estas duas atividades estão profundamente interligadas, e os resultados da atividade de levantamento internacional informarão os destaques a serem aplicados no contexto brasileiro. Entretanto, para fins de apresentação do relatório final, na prática o *framework* central seria introduzido em primeiro lugar, e em seguida as experiências internacionais seriam apresentadas referenciando tal *framework*. Quaisquer atualizações e complementos realizados ao *framework* ao longo da elaboração do entregável e.3.r implicariam em ajustes ao relatório final de forma transparente, de modo a trazer mais clareza aos pontos de discussão.

Um exemplo de modelo conceitual para as escolhas de desenho de um mercado baseado em ofertas adaptado para o Brasil, construído no âmbito do projeto de P&D Aneel PD-00403-0050/2020 (PSR, 2021), é apresentado na figura a seguir. Evidentemente, tal modelo pode ser aprimorado – entretanto, as escolhas destacadas neste material representam um ponto de partida interessante para dar continuidade às discussões e realizar aprofundamentos. Em particular, nota-se que foram apresentadas um total de 9 escolhas de desenho, organizadas em 3 principais categorias:

- Restrições operativas e distinções por tecnologia (Formato das ofertas): A pergunta central deste elemento de desenho é: **como restrições operativas devem se refletir nas ofertas dos agentes, e em que medida devem representar características de diferentes tecnologias?** Tais restrições incluem, por exemplo, rampas ou máximo número de acionamentos.
- Limites para as ofertas e mitigação de poder de mercado (Formato das ofertas): A pergunta central deste elemento de desenho é: **em que medida deve-se restringir as ofertas dos agentes para mitigar o poder de mercado?** O principal tradeoff envolvido é que restringir a liberdade dos agentes para elaboração das ofertas pode reduzir a aderência dos preços à realidade operativa do sistema.
- Oferta de renováveis e pelo lado da demanda (Formato das ofertas): A pergunta central deste elemento de desenho é: **que tipo de oferta deve estar disponível para proprietários de geradores renováveis e consumidores em um mecanismo de formação de preços por ofertas?** Nota-se que estratégia adotada para renováveis não precisa ser igual à adotada para a demanda, embora as estratégias possíveis e seus argumentos sejam similares.
- Soluções para o problema de externalidades nas cascatas (Ofertas de reservatório): A pergunta central deste elemento de desenho é: **como resolver o problema das externalidades nas cascatas de geradores hidrelétricos?** Um despacho eficiente do sistema deve levar em consideração que o turbinamento de usinas hidroelétricas a montante converte-se em afluência disponível para as usinas a jusante.

- Mecanismos de acesso compartilhado aos reservatórios (Ofertas de reservatório): A pergunta central deste elemento de desenho é: **que tipo de papel a possibilidade de acesso compartilhado aos reservatórios de centrais hidrelétricas deve ter no mercado?** As possibilidades seriam essencialmente não fazer nenhum tipo de compartilhamento (cada hidrelétrica faz gestão do seu próprio reservatório exclusivamente), realizar compartilhamento entre as hidrelétricas do sistema (analogamente ao MRE atual), ou permitir um compartilhamento ainda mais amplo com outros agentes de mercado (mediante pagamentos financeiros).
- Nível de detalhamento dos reservatórios virtuais (Ofertas de reservatório): A pergunta central deste elemento de desenho é: **caso seja implementado um mecanismo de reservatórios virtuais, qual deve ser o nível de agregação da representação?** Um reservatório virtual é fundamentalmente uma “conta” de direitos de energia provenientes de um ou mais reservatórios físicos e monitorada para cada agente individual. Quanto mais desagregada a representação, mais influência direta os agentes podem ter sobre reservatórios físicos específicos, mas maior a complexidade do mecanismo (havendo também a possibilidade de falta de liquidez nas ofertas de reservatórios menores).
- Liquidação única VS liquidação dupla (Ofertas multiperíodo): A pergunta central deste elemento de desenho é: **o Brasil deve mudar o seu modelo de liquidação atual, e, em caso positivo, para um modelo de liquidação única ou de liquidação dupla?** Nota-se que esta mudança pode ocorrer mesmo em um modelo baseado em custos, embora em um modelo baseado em ofertas ela tenha implicações importantes para os incentivos percebidos pelos agentes.
- Liquidações iterativas múltiplas (Ofertas multiperíodo): A pergunta central deste elemento de desenho é: **deve ser implementado um número ainda maior de mercados vinculantes iterativos?** O chamado modelo de liquidações múltiplas é uma generalização do mecanismo de liquidação dupla, em que pode haver qualquer número de mercados encadeados – a cada iteração há uma liquidação associada, proporcional à diferença entre as quantidades programadas naquela simulação e na anterior.
- Influência do operador no despacho (Ofertas multiperíodo): A pergunta central deste elemento de desenho é: **em que medida o operador do sistema deve ser capaz de influenciar decisões de despacho no mercado forward e formar preços?** Nota-se que no P&D também foi feita neste contexto uma discussão a respeito das “ofertas virtuais”, também chamadas de “ofertas de convergência”, que têm papel relevante em mercados dos Estados Unidos.

Figura 2 – Ilustrativo de algumas escolhas de desenho de mecanismo



Destaca-se que o modelo conceitual (desenvolvido de acordo com os princípios apresentados) deve endereçar os principais quesitos necessários para a adequação de um mecanismo de preço por oferta ao mercado brasileiro e os direcionamentos que deverão ser definidos em relatórios subsequentes. Este relatório será a base para as análises comparativas do entregável e.4.r e subsequentes, e dessa forma deve ser organizado de forma condizente para esse fim.

No que diz respeito ao estudo de *benchmarking*, embora o *framework* básico possa estar sujeito a adaptações como discutido anteriormente, espera-se contemplar ao menos os seguintes itens para cada uma das diferentes implementações internacionais estudadas (trazendo sempre que cabível paralelos e/ou contrastes com a realidade brasileira):

- Caracterização do mercado
 - Análise comparativa das características físicas fundamentais dos países selecionados, bem como elementos da sua conjuntura que o tornam mais ou menos similares ao Brasil.
 - Visão geral institucional do país e atribuições institucionais: operador do mercado, operador do sistema físico, operador da rede de transmissão, entidade com status de ministério, entidade reguladora do setor elétrico, e outras entidades.
 - Principais desafios enfrentados pelo setor historicamente, em que medida o mecanismo baseado em ofertas pode ter contribuído para agravar ou mitigar estes desafios, além de discussões vigentes e/ou revisões anteriores no paradigma de formação de preços.
 - Histórico dos preços de mercado do país e uma análise da sua volatilidade.
 - Discussão sobre a composição e o nível de concentração do mercado.
 - Avaliação crítica sobre o atual estágio de desenvolvimento/implantação do mecanismo de despacho e formação de preço nos países avaliados.
- Escolhas de desenho fundamentais
 - Principais escolhas de desenho de mercado (diferenças no mecanismo de formação de preços) entre os diferentes países e sua robustez (eficiência do sinal de preço). Em particular, discutir a granularidade espacial (preços zonais VS nodais) e temporal dos preços e a representação de custos não-convexos (como custos de *start-up*) e o seu impacto sobre o sinal de preços.
 - Estruturação das ofertas: formato de oferta (e.g. preço-quantidade, ofertas de restrições e custos específicos, ou outros formatos); frequência de submissão das ofertas e discretização temporal; classes de participantes de mercado (consumidores, geradores flexíveis, geradores de fontes intermitentes e ofertas virtuais); como se dá a concorrência entre agentes de diferentes categorias e/ou entre diferentes fontes de energia na submissão de ofertas; possibilidade de acesso ao mercado de energia elétrica de agentes não detentores de ativos físicos (contratos virtuais).
 - Realização do fechamento de mercado (*market clearing*): modelo computacional utilizado para receber as ofertas dos agentes e determinar o equilíbrio (preços e quantidades alocadas); ações do operador de mercado/despacho sobre as ofertas dos agentes.
 - Iterações de mercado: experiências com liquidação única, liquidações duplas (day-ahead e real time), liquidações múltiplas (iteraões de mercado discretas), e liquidações contínuas (mecanismo europeu).
 - Representação ou não de serviços ancilares e sua relação com o mercado de curto prazo – inclusive reservas de potência de curto prazo, restabelecimento ou black-start, controle de tensão e suporte de reativo, controle de frequência, e outros serviços.
- Mecanismos auxiliares

- Contextualização do sistema hidrelétrico e externalidades das cascatas: ocorrência de cascatas complexas com múltiplos proprietários, grau de concentração do mercado e equilíbrio de geração em cascatas, mecanismos para se garantir o equilíbrio de mercado do ponto de vista de se mitigar conflitos de interesse com relação à operação em cascatas.
- Outros tratamentos particulares da representação do sistema hidrelétrico: usos múltiplos da água, eventuais externalidades socioambientais na operação de curto prazo das hidrelétricas, e questões afins.
- Interação entre o paradigma de formação de preços e os mercados de longo prazo
 - Representação ou não de produtos de longo prazo, como um produto “lastro”, “confiabilidade”, ou “reserva de potência de longo prazo” e seu funcionamento. Diferenciações entre contratos energéticos e contratos de atendimento à ponta (frequentemente associados ao produto confiabilidade).
 - Modelo típico de contratos de energia comercializados: existência de diferentes modelos de contrato (contratos futuros, a termo, opções), suas características em termos de fluxos financeiros (eventuais referenciais de preço), portfólios típicos detidos pelos agentes (no setor de geração, no mercado livre, e no mercado regulado), e sua relação entre os contratos e os sinais econômicos passados pelos preços marginais de curto prazo.
 - Relação entre o mercado de curto prazo baseado em ofertas e o mercado de contratos – inclusive com discussões sobre o formato da liquidação, interações entre os contratos financeiros e o mecanismo de liquidação (simples, dupla ou múltipla), e a relação entre o “mercado físico” e o “mercado financeiro”.
 - Práticas de instituições intermediadoras (bolsas de energia e/ou *clearing houses*, se existirem): metodologias de formação de margem e outras formas de mitigação de risco de crédito.
 - Mecanismos para a promoção da expansão do sistema elétrico e sua relação com o mercado de contratos e com os sinais de preço de curto prazo.
 - Diagnóstico sobre a possibilidade de incorporação de externalidades associadas a impactos socioambientais no mecanismo de expansão, de modo a priorizar as fontes de geração de menor impacto potencial – seja como uma componente do processo de planejamento, como um produto de mercado de longo prazo, ou como um produto que afeta diretamente o processo de formação do preço de energia elétrica de curto prazo.

Cabe notar que na proposta dos consultores, estava prevista a exploração de práticas internacionais no sentido de monitoramento e mitigação de poder de mercado já neste entregável. Como o tempo para a realização deste entregável de experiência internacional é relativamente curto (condensado nos primeiros meses do projeto), com um número grande de países contemplados e uma série de outros temas, optou-se por mover essa exploração para o entregável e.7.r, que visa a construção de recomendações de melhores práticas de monitoramento e mitigação para o Brasil. Isso permite um maior aprofundamento de temas relevantes (inclusive levantamento de relatórios de monitoramento históricos), uma seleção de países mais voltada para processos de mitigação e monitoramento especificamente, além de aproximar o levantamento da discussão de aplicabilidade ao Brasil.

Na seleção de países, além de explorar os mercados mais consolidados que utilizam por base preços por ofertas, também deverá ser dado especial enfoque em países com predominância hidrelétrica em sua matriz energética. Destaca-se que insights adicionais sobre estes mercados poderão ser extraídos no entregável e.5.w2 com a realização de visitas técnicas (seção 4.2.3).

Nota-se que alguns mercados elétricos de grande relevância foram explorados no contexto do P&D Aneel PD-00403-0050/2020 citado anteriormente (PSR, 2021), conforme sintetizado de forma ilustrativa na tabela a seguir. Esta lista inicial inclui alguns dos principais mercados internacionais com as características desejáveis descritas anteriormente (mercados altamente maduros e com alta participação hidrelétrica), embora haja bastante espaço para aprofundar as análises e adicionar alguns países à lista de mercados analisados. A proposta dos consultores é, além de revisitar e aprofundar os países listados a seguir, adicionar à lista o Reino Unido, o mercado do Texas (ERCOT), e o Mercado Elétrico Regional da América Central como referências adicionais.

Tabela 4 – Países avaliados no programa de P&D (PSR, 2021)

Mercado	Iterações de mercado	Liquidações	Granularidade temporal dos preços	Granularidade espacial dos preços
Noruega (Nord Pool)	Dia Seguinte e Intradiário Contínuo. Intradiário discreto para alguns países (<i>ex ante</i>)	Múltipla	Dia Seguinte: Horário Intradiário: produtos para entrega em 15, 30 e 60 minutos	Preços zonais
PJM	Dia Seguinte e Tempo Real (<i>ex ante</i>)	Dupla	Dia Seguinte: Horário Tempo Real: 5 minutos	Preços nodais
CAISO	Dia Seguinte e Tempo Real (<i>ex ante</i>)	Tripla	Dia Seguinte: Horário Tempo Real: 5 e 15 minutos	Preços nodais
Colômbia	Mercado Tempo Real <i>ex post</i>	Única	Horária	Preço único para o sistema
Espanha (Mercado Ibérico)	Dia Seguinte, Intradiário discreto e Intradiário Contínuo (<i>ex ante</i>)	Múltipla	Horária (em transição para introduzir intervalos de 15 minutos)	Preços zonais (um preço para cada país)
Nova Zelândia	Mercado Tempo Real <i>ex post</i>	Única	30 minutos	Preços nodais

Entre as principais oportunidades de aprofundamentos e novos *insights* para esta análise de *benchmark* internacional, destaca-se:

- A realização de visitas técnicas no âmbito do entregável e.5.w2 – o que permitirá a análise mais aprofundada da Colômbia e Noruega (dois países de paradigma baseado em ofertas com alta participação hidrelétrica na matriz e alto grau de maturidade do mercado).

- Uma análise da proposta de aprimoramento do mecanismo colombiano de despacho e formação de preços, publicada recentemente na Resolução CREG número 143 (Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), 2021). Tal análise é especialmente valiosa, pois o país precisa apresentar contrastes entre o modelo anterior e o modelo proposto e justificar as vantagens do novo modelo; o que pode trazer informações relevantes para o Brasil. Embora seja apenas uma proposta regulatória, que pode não se converter em novas regras de mercado, o acompanhamento do processo de apresentação da proposta aos agentes e sua receptividade pode trazer lições importantes.
- Ainda que a lista de países permanecesse a mesma, a construção deste trabalho de *benchmark* internacional permitiria alguns aprofundamentos: em particular, (i) a inclusão de itens de interesse que não foram contemplados na análise anterior e (ii) a identificação de eventuais mudanças regulatórias e suas justificativas, como a proposta da Colômbia citada anteriormente.

Vale destacar que, como a experiência da América Central e do Canadá ilustram, é possível ter mecanismos de preço por oferta e por custo atuando paralelamente – e outras formas de construir paradigmas “híbridos” contendo características tanto da formação de preços baseada em custos quando da formação de preços baseada em ofertas serão exploradas no entregável e.4.r.

Para minimizar o risco de atraso, o prazo de finalização deste entregável foi adiado em relação à proposta original dos consultores pelo mesmo motivo destacado na seção 4.1.2, a saber, o investimento que está sendo realizado para preparar melhor a infraestrutura do projeto (que será utilizada em todos os entregáveis futuros) nos primeiros meses.

4.1.4. [E.4.R] VANTAGENS E DESVANTAGENS

NATUREZA DO PRODUTO: Relatório técnico.

PREVISÃO DE INÍCIO: 1 de outubro de 2023 (mês 5).

PREVISÃO DE FINALIZAÇÃO: 31 de março de 2024 (mês 10).

HOUE ALTERAÇÃO DE ESCOPO? Não.

HOUE ALTERAÇÃO DE PRAZO? Sim, o prazo de finalização foi adiado para o mês 10.

O entregável e.4.r tem por principal objetivo consolidar informações dos entregáveis e.2.r1 e e.3.r e apresentar uma avaliação detalhada, através de métricas quantitativas apropriadas, das vantagens e desvantagens entre os mecanismos de formação de preço por custo e de formação de preço por oferta no contexto do setor elétrico brasileiro. Além deste objetivo central, apoiado pela aplicação de metodologias gráficas comparativas para dar suporte à tomada de decisão das autoridades do setor elétrico brasileiro e enfatizando o dinamismo da análise e didática dos entendimentos, a proposta dos consultores é ampliar as discussões do presente entregável de modo a trazer mais destaque em particular para (i) elementos da conjuntura específica do Brasil que influenciam a atribuição de “pesos” aos diferentes critérios de decisão; e (ii) a uma discussão de possíveis aprimoramentos ao desenho do mecanismo de despacho brasileiro que poderiam ser aplicados independentemente do paradigma de formação de preços selecionado (por custo ou por oferta), e que portanto funcionariam como ponto de partida tanto para as recomendações do entregável e.2.r2 (seção 4.1.5) quanto para as recomendações do entregável e.6.r (seção 4.1.6).

O adiamento deste entregável em relação a ata de negociação se deve à dependência deste entregável com o e.4.w, e.2.r1 e e.3.r (já que o entregável e.4.r deve refletir as conclusões destes), que também foram adiados. Assim, minimiza-se o risco de atraso.

O entregável e.4.r será fundamental para o embasamento técnico e metodológico que subsidiará a decisão de alteração ou não do mecanismo de formação de preço no Brasil – e, dessa forma, deverá ter um nível de robustez e detalhamento para que torne possível a análise. A estrutura proposta para as atividades do entregável é apresentada a seguir.

CARACTERIZAÇÃO DOS PARADIGMAS

Inicialmente, é interessante realizar um resumo comparativo das características dos mercados internacionais analisados nos entregáveis e.2.r1 (diagnóstico “por custo”) e e.3.r (diagnóstico “por oferta”), destacando elementos de interesse para esta análise comparativa – em particular, experiências internacionais de migração de mecanismos de mercado de energia elétrica com paradigma baseado em custo para paradigma baseado em ofertas (ou vice-versa) são de interesse especial e deverão ser discutidas em mais detalhe, com destaque para eventuais desafios encontrados nos processos migratórios.

É importante destacar que, embora seja possível fazer uma discussão sobre as vantagens e desvantagens “inerentes” ao paradigma baseado em custos e ao paradigma baseado em ofertas, as diferenças em “detalhes” de implementação (detalhadas nos entregáveis e.2.r1 e e.3.r) podem trazer impactos significativos para o sucesso da implementação – de modo que é sempre importante analisar o contexto e aplicabilidade de cada experiência para extrair possíveis lições aprendidas para o sistema brasileiro. Em particular, há a possibilidade de implementação de modelos “híbridos” buscando extrair o “melhor dos mundos” no que diz respeito aos dois paradigmas disponíveis, e que mesmo na implementação de modelos “clássicos” em geral há adaptações (como a introdução de mecanismos de monitoramento e mitigação de poder de mercado, em sistemas com paradigma de formação de preços baseada em ofertas). Por outro lado, ao mesmo tempo que se leva em consideração as particularidades de cada país (tanto em termos de conjuntura quanto em termos de desenho de mecanismo), é desejável construir alguns “paradigmas de referência” para possibilitar uma análise sistemática de forma menos dependente do contexto.

De modo a atender a estes *tradeoffs*, propõe-se construir, com base nos benchmarks internacionais apresentados nos entregáveis e.2.r1 e e.3.r, uma gradação de ao menos quatro “paradigmas de referência”, que serão utilizados nas análises comparativas das atividades posteriores deste entregável:

- Um paradigma “baseado em custos clássico”
- Um paradigma “baseado em custos com adaptações”
- Um paradigma “baseado em ofertas com adaptações”
- Um paradigma “baseado em ofertas clássico”

Evidentemente, muito dificilmente um destes paradigmas corresponderá exatamente a uma aplicação internacional específica – entretanto, a construção desses paradigmas seria baseada em uma análise comparativa das características dos mercados analisados nos entregáveis e.2.r1 e e.3.r. Esta gradação permite trazer uma discussão mais honesta sobre vantagens e desvantagens “inerentes” aos paradigmas baseados em custos e baseado em ofertas, fazendo a concessão de que há adaptações possíveis que

podem mitigar os pontos fracos de cada um dos paradigmas clássicos. Visto que muito provavelmente a implementação de um desenho de mecanismo para o Brasil envolverá algum tipo de compromisso entre os paradigmas mais extremos, esta comparação de quatro possíveis desenhos é mais aderente à escolha que o Brasil teria que fazer no contexto do presente projeto. Vale destacar que, de um modo geral, a introdução de “adaptações” ao desenho base (caso dos paradigmas 2 e 3 acima) tende a implicar em algum custo em complexidade, em troca de trazer refinamentos ao modelo – de modo que não há nenhum paradigma que seja estritamente superior a outro, e as suas forças e fraquezas deverão ser analisadas em contexto.

Nesta caracterização dos paradigmas de referência selecionados, é importante estabelecer com clareza as premissas consideradas, em particular:

- Do ponto de vista do operador de mercado e do operador de sistema:
 - Em termos da sua atuação rotineira no sistema.
 - Em termos da sua atuação em situações de estresse de curto prazo (*blackouts*, restrições de rede, insuficiência de geração renovável variável, e outros desequilíbrios estruturais de duração da ordem de uma hora ou inferior).
 - Em termos da sua atuação em situações de estresse de longo prazo (reduções prolongadas de aflúncias, restrições de rede sistemáticas, e outros desequilíbrios estruturais de duração da ordem de uma semana ou superior).
- Do ponto de vista dos agentes de mercado:
 - Em termos de acesso ao mercado e forma de atuação – distinção, se houver, entre agentes consumidores, agentes geradores renováveis (fontes variáveis e grandes usinas a fio d’água), outros geradores com ofertas inelásticas (por exemplo, termelétricas inflexíveis).
 - Em termos da flexibilidade que têm para submeter ofertas e incentivos percebidos.

4.1.4.1. ANÁLISE COMPARATIVA E FUNDAMENTOS DE MERCADO

Uma vez definidos os paradigmas de referência, é possível implementar uma análise comparativa desses diferentes paradigmas de acordo com uma série de *critérios* a serem estabelecidos também ao longo do processo de elaboração do entregável e.4.r. O mapeamento desses critérios para a análise comparativa dependerá de uma análise aprofundada, baseada em particular em consulta aos especialistas da equipe de consultores. Entretanto, pode-se destacar, a título de exemplo, alguns elementos que, com base em fundamentos de mercado, devem fazer parte desta análise classificatória. Embora a introdução de mecanismos de adaptação auxiliares certamente possa ter um papel em mitigar pontos fracos e potencializar pontos fortes de cada um dos mecanismos, destacam-se as seguintes categorias que podem oferecer alguma vantagem ou desvantagem “inerente” a um mecanismo ou outro:

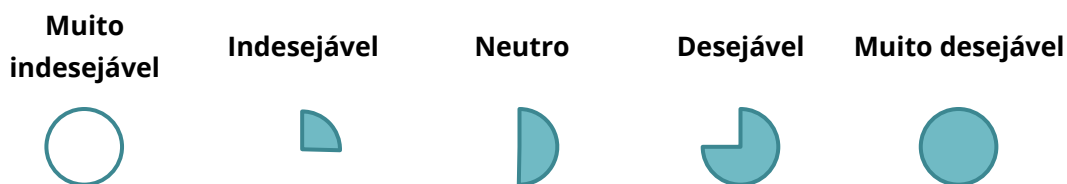
- Robustez face a uma realidade dinâmica. De um modo geral, um mecanismo mais descentralizado (como é o caso do paradigma baseado em ofertas) tende a ser capaz de responder mais rapidamente a mudanças nas condições de mercado.
- Aderência da informação descentralizada. Quando há assimetrias de informação importantes entre os agentes e o operador central, é desejável oferecer aos agentes descentralizados *incentivos* para que eles compartilhem a melhor informação possível – o que é implementado com mais facilidade nos mecanismos baseados em ofertas.
- Poder de mercado e outras falhas de mercado. Os princípios centrais que garantem a equivalência entre os equilíbrios de mercado no paradigma baseado em custos e no paradigma

baseado em ofertas só valem sob as hipóteses clássicas de concorrência perfeita – de modo que os desvios da idealidade tendem a representar uma desvantagem para os paradigmas baseados em ofertas.

- Simplicidade. A simplicidade é algo desejável tanto por sinalizar uma maior transparência ao mercado quanto por reduzir as barreiras à entrada. De maneira geral o paradigma baseado em ofertas implica maior complexidade que o baseado em custos, e a introdução de adaptações adicionais também tende a aumentar esta complexidade.
- Baixos custos de transação. Embora em alguma medida ligado à simplicidade, o objetivo de reduzir custos de transação (tanto para agentes de mercado quanto para agentes consumidores) merece destaque como um objetivo em si próprio, especialmente considerando que de um modo geral a implementação de adaptações ao mecanismo atual teria um custo ao sistema.
- Risco de ameaças à segurança de suprimento. Visto que em um paradigma baseado em ofertas são os agentes que determinam ao nível de segurança que deve ser observado no sistema, há a possibilidade que este risco esteja além do ótimo do ponto de vista sistêmico, particularmente em caso de um mecanismo falho ou incompleto.
- Aderência dos critérios de risco. Por outro lado, a aversão ao risco considerada em modelos centralizados para determinação do despacho pode não ser aderente com as preferências reais da sociedade – o que daria uma vantagem aos paradigmas baseados em custos, ao induzir uma operação mais coerente com o ótimo social.
- Robustez à captura do agente regulador-operador. Quando um agente centralizado tem muita flexibilidade para tomar decisões discricionárias (o que tende a ocorrer com mais frequência em mecanismos baseados em custos), há um incentivo ao *lobby* e a possibilidade de assimetrias de tratamento entre os agentes (o que poderia levar a uma deterioração da confiança no setor e no ambiente de mercado).

Uma vez determinadas as categorias para a base comparativa, os consultores recomendam utilizar o paradigma de *Harvey Balls* (Digital Roam, 2006) para realizar as análises entre as diferentes possibilidades de desenho. Segundo este paradigma, cada quesito selecionado e cada paradigma de desenho é classificado de acordo com a escala gráfica sintetizada abaixo. A partir desta classificação, é possível construir apoios visuais adicionais, como gráficos de radar.

Tabela 5 – Interpretação para a metodologia das *Harvey Balls*



Em cada um dos quesitos, sempre que possível se buscará utilizar exemplos e experiências internacionais para respaldar as classificações feitas – sem deixar de levar em conta eventuais discrepâncias entre o desenho efetivamente implementado no mercado elétrico “real” e o paradigma de referência construído para a base comparativa.

4.1.4.2. CARACTERIZAÇÃO DO CONTEXTO BRASILEIRO

Esta atividade do entregável e.4.r envolve a caracterização do contexto regulatório e conjuntural brasileiro no *framework* construído até aqui – composto pela definição dos paradigmas de referência e dos quesitos de comparação aplicados. Na prática, levando em conta a caracterização do contexto

brasileiro tanto em termos regulatórios quanto em termos de conjuntura, esta atividade pode ser subdividida em duas atividades principais:

- A primeira, de natureza *regulatória*, envolve a caracterização do modelo de mercado brasileiro atual e sua comparação com o prisma representado pelos paradigmas de referência detalhados anteriormente. Nota-se que, embora o paradigma brasileiro atual siga os fundamentos de um paradigma baseado em custos, ele não é totalmente livre de *adaptações*, e é relevante trazer destaque para os pontos em que o mecanismo brasileiro traz similaridades com um paradigma baseado em ofertas de modo a trazer clareza para a discussão. A título de exemplo, têm semelhanças com o paradigma baseado em ofertas: (i) as declarações dos agentes termelétricos no que diz respeito a ajustes ao seu custo variável unitário para redespacho intradiário, (ii) as declarações dos agentes termelétricos no que diz respeito às suas restrições operativas, e (iii) o mecanismo de resposta da demanda; entre outros.
- A segunda, de natureza *física e socioeconômica*, envolve a caracterização da conjuntura atual do mercado brasileiro no contexto dos quesitos de comparação detalhados anteriormente, em que as características e histórico do mercado tendem a tornar alguns critérios mais ou menos salientes. Para esta caracterização, espera-se usar métricas do mercado brasileiro de modo a respaldar uma *priorização* para os critérios explorados em mais detalhe anteriormente – utilizando indicadores do grau de concentração do mercado (*market share* e métricas associadas), liquidez, giro de negócios, volatilidade, entre outros. Devidamente respaldados por evidências do próprio mercado brasileiro, é possível fazer inferências sobre a *importância relativa* dos critérios de comparação levantados durante a elaboração do entregável e.4.r, e, portanto, atribuir “pesos” para estes diferentes critérios.

Esta caracterização do contexto brasileiro, além de ser valiosa por si só, trazendo elementos importantes da conjuntura do país, também permite uma *síntese* das análises comparativas apresentadas anteriormente ao realizar uma média ponderada da pontuação de cada um dos paradigmas de referência, levando em conta os “pesos” atribuídos a cada um dos quesitos. A título de exemplo, ilustra-se na tabela abaixo como este procedimento poderia ser aplicado a uma matriz com duas opções e três quesitos da base comparativa, traduzindo as possíveis classificações segundo a metodologia de *Harvey Balls* em valores de 1 a 5 para cada célula da tabela. Nota-se que a classificação agregada para cada paradigma de referência (“opção”) avaliada corresponde à soma da pontuação dessa opção em cada quesito, ponderada pelo peso do quesito, e é apresentada na última linha da tabela. Analisando esta última linha, pode-se concluir que a Opção 2 mostra-se preferível à Opção 1, por ter alcançado uma pontuação mais elevada.

Tabela 6 – Exemplo de matriz de pesos para análise comparativa

	Peso	Opção 1	Opção 2
Quesito 1	3	3	2
Quesito 2	1	4	1
Quesito 3	2	1	5
Agregado		15	17

Entretanto, é relevante apresentar, no lugar de um simples ranqueamento das Opções, também uma análise de sensibilidade no que diz respeito à distribuição dos pesos considerada e/ou à pontuação atribuída a cada paradigma de referência em cada quesito – especialmente em pontos que sejam

particularmente controversos ou que resultariam em uma mudança na ordem de preferências entre as opções levantadas. Desta forma, a caracterização do contexto brasileiro e atribuição de pesos representa um *enriquecimento adicional* da análise.

4.1.4.3. APRIMORAMENTOS DE DESENHO EM COMUM A DIFERENTES PARADIGMAS DE FORMAÇÃO DE PREÇOS

Alguns aprimoramentos que podem ser implementados ao mecanismo brasileiro de despacho e formação de preços são independentes do paradigma ser baseado “em custos” ou “em ofertas”. Conseqüentemente, considera-se vantajoso adicionar ao entregável e.4.r uma discussão preliminar destes elementos de desenho em comum, apresentando uma contextualização útil para os aprofundamentos dos entregáveis e.2.r2 e e.6.r (seções 4.1.5 e 4.1.6, respectivamente).

Entre alguns dos aprimoramentos de desenho que poderiam ser contemplados neste exercício, destacam-se:

- A discussão de serviços ancilares em geral (inclusive compensação de reativos, auto-reestabelecimento, e diferentes serviços de resposta rápida como o controle primário de frequência e o controle secundário), bem como a necessidade de garantir sua disponibilidade para o sistema.
- Especificamente, a possível introdução de um paradigma de cootimização para a alocação de energia e reservas no despacho de curto prazo, com tratamento concorrencial e formação de preços de mercado para serviços de reserva operativa de curto prazo.
- A implementação de liquidações de mercados intradiários – em particular, a realização de uma única, duas, ou múltiplas liquidações de mercado à medida que a operação se aproxima do tempo real, nos chamados mercados vinculantes.
- A interação entre os mecanismos de formação de preços de curto prazo e os mecanismos de promoção da expansão do sistema elétrico, inclusive o mercado de contratos de longo prazo (mercado financeiro *forward* e sua relação com as liquidações intradiárias).
- A interação entre os mecanismos de formação de preços de curto prazo e mecanismos para a priorização de fontes de geração com menores impactos socioambiental.

Nota-se que, embora estes tenham sido os principais elementos de interesse identificados nos termos de referência para aprimoramentos de desenho que poderiam ser aplicados independentemente do paradigma selecionado, permanece em aberto a possibilidade de se levantar elementos de desenho adicionais de interesse para serem explorados.

Além disso, embora as escolhas de aprimoramentos de desenho acima possam ser feitas de forma independente, isto não significa que as *interações* entre essas escolhas e os paradigmas de referência não sejam relevantes e não possam levar a combinações diferentes. De modo a destacar este efeito, para cada um dos aprimoramentos de desenho identificados e para cada um dos paradigmas de referência analisados como opção de implementação para o mercado elétrico brasileiro, pode-se avaliar um *grau de compatibilidade* que representa a existência de sinergias ou de anti-sinergias entre as duas estratégias de desenho. Esta classificação pode ser feita mais uma vez sob o paradigma de *Harvey Balls*, conforme a escala apresentada abaixo.

Tabela 7 – Aplicação da metodologia das *Harvey Balls* para análise de conflito ou sinergia entre múltiplas iniciativas de desenho



4.1.5. [E.2.R2] PROPOSTAS PREÇO POR CUSTO

NATUREZA DO PRODUTO: Relatório técnico.

PREVISÃO DE INÍCIO: 1 de fevereiro de 2024 (mês 9).

PREVISÃO DE FINALIZAÇÃO: 30 de junho de 2024 (mês 13).

HOUE ALTERAÇÃO DE ESCOPO? Não.

HOUE ALTERAÇÃO DE PRAZO? Sim, o prazo de finalização foi adiado para o mês 13.

Este trabalho busca avaliar de forma isonômica dois caminhos para aprimoramento do mecanismo de formação de preços no Brasil: migrar para um paradigma de “preços por ofertas” ou manter o paradigma atual de “preços por custos”, mas com melhorias. A esta altura do projeto, ambos os paradigmas terão seus relatórios de diagnóstico finalizados (entregáveis e.2.r1 e e.3.r descritos nas seções 4.1.2 e 4.1.3, respectivamente) e parte-se, então, para a construção dos dois caminhos. O entregável e.2.r2 constrói o caminho de aprimoramento do paradigma de preços por custos brasileiro, isto é, traz recomendações concretas de como o desenho de mercado brasileiro pode ser aperfeiçoado, mantendo o paradigma de preços por custo – o entregável e.6.r (descrito na seção 4.1.6) realizará recomendações para o outro caminho, de migração para um paradigma de preços por ofertas.

A construção de recomendações deste entregável se baseará no princípio de que, em qualquer implementação particular, o desenho de mercado deve potencializar pontos fortes e mitigar pontos fracos da versão mais simples do desenho. A partir dos principais paradigmas apresentados no entregável e.4.r e de um aprofundamento sobre as práticas atualmente utilizadas no Brasil para o despacho e formação de preços, serão discutidos possíveis aprimoramentos sem alterar o paradigma central do mercado (isto é, mantendo a lógica de um mecanismo de formação de preços baseado em custos).

Vale destacar que os aprimoramentos explorados se restringirão aos procedimentos associados às decisões de despacho e formação de preços aplicadas ao longo do procedimento de operação do sistema e do mercado. Embora a interação com outras componentes do desenho do setor elétrico brasileiro seja também objeto da análise, estas componentes serão tratadas como condições de contorno e não como objeto de exploração de outras possibilidades de aprimoramento.

Alguns exemplos de categorias em que se espera conseguir realizar recomendações são as seguintes:

- Dinâmica da programação da operação e do despacho, governança, transparência, e aplicação de mecanismos de monitoramento e acompanhamento (levando em conta as principais fontes de incertezas do SIN).

- Modelo a ser aplicado na formação de preço, possíveis aprimoramentos metodológicos à cadeia de modelos atualmente utilizada no setor elétrico brasileiro, e levantamento de potenciais fornecedores de modelos alternativos.
- Análise da possibilidade de exercício de poder de mercado sob o paradigma baseado em custos e possíveis iniciativas de mitigação.
- Dinâmica entre os aprimoramentos propostos e outras iniciativas de aprimoramento “ortogonais” ao paradigma de formação de preços, como explorado no entregável e.4.r (inclusive mercados de reserva).
- Possíveis pontos de convergência com a proposta de mecanismo baseada em ofertas – inclusive envolvendo discussões sobre a implementabilidade de um mecanismo de liquidações múltiplas e/ou aprimoramentos ao MRE.

Também será apresentada uma estimativa do esforço estimado para implantação das metodologias propostas, tendo em vista a atual conjuntura do país e paradigmas atuais (em termos institucionais e de sistemas computacionais).

O adiamento deste entregável em relação a ata de negociação se deve à dependência deste entregável com o e.4.w, e.2.r1 e e.4.r, que também foram adiados. Assim, minimiza-se o risco de atraso.

4.1.6. [E.6.R] PROPOSTA DE MECANISMO DE PREÇO POR OFERTA

NATUREZA DO PRODUTO: Relatório técnico.

PREVISÃO DE INÍCIO: 1 de dezembro de 2023 (mês 7).

PREVISÃO DE FINALIZAÇÃO: 31 de outubro de 2024 (mês 17).

HOUVE ALTERAÇÃO DE ESCOPO? Não.

HOUVE ALTERAÇÃO DE PRAZO? Não.

O entregável e.6.r consiste na proposição de um mecanismo de formação de preços por oferta que atenda as particularidades do setor elétrico brasileiro e que possa conviver com o despacho ótimo das usinas hidrelétricas. Este entregável deverá fazer referência aos levantamentos feitos ao longo das atividades dos grupos 3 (Diagnóstico sobre o mecanismo de formação de preço por oferta), 4 (Avaliação das vantagens e desvantagens dos mecanismos de formação de preço) e 5 (Desenhos de mercado e mecanismos de formação de preço), sempre respaldando as recomendações propostas na experiência internacional e em análises custo-benefício levando em conta a realidade do Brasil.

4.1.6.1. ANÁLISE DE IMPACTO E MATRIZ DE RISCO

As recomendações de implementação apresentadas no contexto deste entregável devem ser posicionadas em um contexto de análise de custo-benefício e mapeamento de desafios para a implantação do mecanismo proposto. Está prevista a elaboração de uma matriz de risco e uma análise dos principais impactos e obstáculos para o desenho de mercado proposto, que posteriormente se converterão em um aprofundamento de como viabilizar a implementação do mecanismo nos entregáveis e.10.r (tratamento dos legados do sistema) e e.11.r (cronograma de implantação).

Neste contexto, alguns dos principais desafios que devem ser vencidos podem ser classificados como segue:

- Desafios associados ao desenho institucional brasileiro, necessidade de adequações à governança institucional e/ou revisões nas atribuições das instituições (possivelmente exigindo a formação de novas equipes e novas expertises).
- Desafios regulatórios associados (i) à necessidade de base legal e regulatória para a implementação do novo desenho de mercado proposto, e (ii) a possíveis conflitos ou anti-sinergias entre o paradigma de mercado baseado em ofertas proposto e outras propostas de aprimoramento regulatório ou reformas de mercado.
- Desafios regulatórios e comerciais associados à existência de legados prévios que blindam determinados agentes de determinadas fontes de risco de uma forma que pode ser contraproducente à implementação de um paradigma de mercado baseado em ofertas, e formas de mitigar os impactos negativos destes arranjos atuais no contexto de uma migração a esse novo paradigma.

Para cada um destes tópicos, será feita uma discussão inicial qualitativa, a ser aprofundada no entregável e.9.r (ver seção 4.1.9). Deve ser feita a identificação explícita das principais categorias de agentes afetadas pelos legados, e a discussão sobre obstáculos e rotas de mitigação deve ser contextualizada a cada categoria individualmente.

4.1.6.2. CONSOLIDAÇÃO DOS ELEMENTOS DE DESENHO PROPOSTOS

Embora uma versão preliminar para uma série de escolhas de desenho para a implementação do paradigma de formação de preços baseado em ofertas no Brasil já tenha sido apresentada no Projeto de P&D Aneel PD-00403-0050/2020, a equipe consultora se propõe a visitar todas as escolhas feitas no trabalho anterior, lançando mão em particular de consulta a especialistas e do feedback recebido dos agentes e instituições do setor elétrico brasileiro, no contexto do Workshop 1 (vide seção 4.2.1), do Treinamento e das visitas técnicas realizadas (vide seção 4.2.2 e 4.2.3). Coletando estes inputs, espera-se que ao menos os seguintes elementos de desenho sejam tratados na proposta do entregável e.6.r:

- Em primeiro lugar as decisões que, conforme discutido no entregável e.4.r, têm certo grau de *independência* do paradigma para formação de preços adotado ser baseado em custos ou em ofertas. Tais decisões já foram introduzidas no entregável e.4.r, mas serão rediscutidas ou aprofundadas no entregável e.6.r, na medida que houver complexidades adicionais ou interações com o desenho de mecanismo proposto que mereçam destaque.
 - Em particular, esta categoria de elementos de desenho engloba: (i) a possível incorporação de serviços ancilares ao mercado baseado em ofertas, e (ii) a realização de múltiplas liquidações intradiárias, (iii) a interação entre o mercado de contratos e a formação de preços de curto prazo.
- Caracterização base do mecanismo de submissão de ofertas proposto
 - Deve-se apresentar uma recomendação para o tratamento (diferenciado ou não) de agentes de diferentes tipos, levando em conta as suas características físicas distintas e o desejo de se construir um modelo equilibrado de concorrência. Em particular, deve-se contemplar nesta análise, entre outras classes de agentes: (i) agentes consumidores, (ii) fontes renováveis variáveis (solar e eólica), (iii) geradores termelétricos com despacho pré-definido (inflexível), (iv) geradores flexíveis, (v) agentes não detentores de ativos físicos.
 - As hidrelétricas, dado o contexto particular do Brasil, merecem especial destaque e serão tratadas a seguir.

- Premissas centrais e formato das ofertas, inclusive sua discretização temporal e tipos de oferta submetidas (preço-quantidade, restrições operativas, custos de arranque e parada, e outros formatos).
- Caracterização do mecanismo de liquidação e atribuições institucionais
 - Caracterização básica das atribuições das instituições (particularmente CCEE e ONS, no seu papel de operador do mercado e operador do sistema respectivamente), tanto em caso de funcionamento “rotineiro” do mercado quanto em caso de situações de “emergência” (que serão aprofundadas nos entregáveis e.7.r e e.8.r).
 - Operação do mercado físico e do mercado financeiro (liquidações); ações de conciliação entre o mercado físico e o mercado financeiro (contratual e/ou ofertas submetidas).
 - Calendário de sucessão de eventos de operação rotineira, incluindo, por exemplo (i) recebimento e agregação das ofertas dos agentes (ii) execução de modelo para o fechamento do mercado (market clearing), (iii) ações do operador para ajustes em tempo real no despacho físico, (iv) conciliação financeira associada ao despacho físico efetivamente observado.
 - Discussão prévia da importância de elementos de monitoramento e mitigação de poder de mercado (a serem aprofundados no entregável e.7.r) e de elementos de monitoramento e prevenção de risco sistêmico (a serem aprofundados no entregável e.8.r), e implicações para o mecanismo apresentado em caráter preliminar.

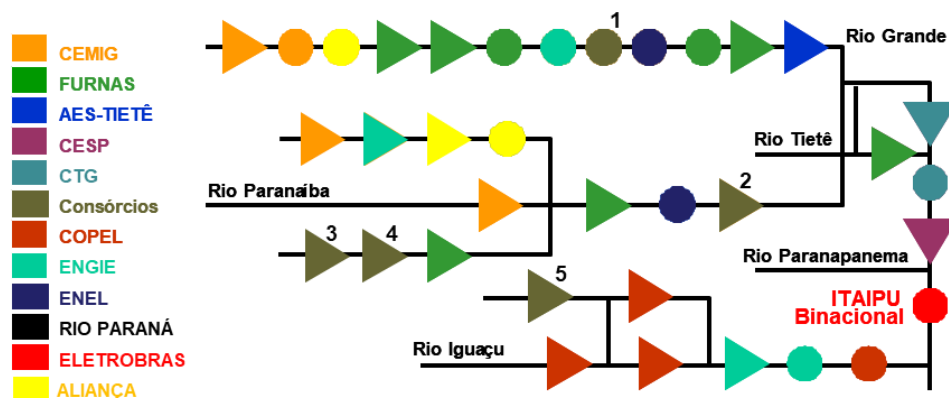
4.1.6.3. MECANISMO PARA TRATAMENTO DAS HIDRELÉTRICAS

Muitos países que implementam paradigmas de mercado baseados em ofertas, mesmo entre aqueles que possuem elevada participação hidrelétrica na sua matriz de geração, adotam um mecanismo elegante e bastante simples para incorporar a operação de hidrelétricas com reservatório ao mecanismo de despacho e formação de preços baseado em ofertas. Sob este paradigma comumente utilizado, basta realizar a *plena alocação dos direitos de propriedade* associados a determinado reservatório a um agente do sistema. Isto significa que cada agente é plenamente responsável por toda a água armazenada no seu reservatório, e conseqüentemente também é responsável por todos os fluxos envolvendo este reservatório – decisões de turbinamento, afluências, defluências mínimas por restrição ambiental, perdas por evaporação, e quaisquer outras componentes do balanço hídrico afetarão diretamente o valor do reservatório para o agente (seja em seu nível presente ou na sua evolução esperada futura). Como o agente captura todos os lucros e prejuízos associados à sua própria gestão do reservatório, ele tem incentivos para modelar com precisão os diferentes elementos que contribuem para a maximização do seu lucro – inclusive a representação de custos de oportunidade do armazenamento, não-linearidades na sua função de produção (conversão água-energia), risco de vertimento e risco de violação de limites ambientais. Dessa forma, desde que não haja uma concentração excessiva da propriedade das hidrelétricas com reservatório, o que poderia levar a algum exercício de poder de mercado, a estratégia de maximização do lucro de cada agente proprietário de um reservatório hidrelétrico individual levará a um uso mais eficiente da água armazenada nos reservatórios do ponto de vista do sistema como um todo. Conclui-se que a *plena alocação dos direitos de propriedade* é uma estratégia que pode levar à convergência do mercado baseado em ofertas para o ótimo global do sistema (coincidindo com a operação governada por um operador central onisciente e benevolente).

O principal obstáculo à implementação desta estratégia simples é que, no caso de cascatas hidrelétricas, o resultado de equivalência deixa de valer, visto que passa a haver *externalidades* não desprezíveis que distorcem as decisões de operação ótima. Estas externalidades podem ser contornadas em alguma

medida por meio de uma negociação bilateral direta entre agentes participantes de uma mesma cascata, como afirma o famoso Teorema de Coase (Coase, 1960). Entretanto, para que tais negociações bilaterais sejam factíveis e levem à operação ótima da cascata, é necessário que os *custos de transação* dessas negociações sejam nulos – o que é uma hipótese subjacente extremamente questionável, especialmente no contexto das cascatas de alta complexidade que fazem parte do sistema elétrico brasileiro. A figura a seguir ilustra a complexidade da principal cascata de geradores hidrelétricos no Brasil, que conta com muitas hidrelétricas com e sem reservatório e um número muito grande de agentes.

Figura 3 – Ilustrativo da complexidade da cascata do rio Iguaçu no Brasil



Acionistas majoritários dos consórcios: 1. Aliança Energia; 2. SPIC Brasil; 3. CEB; 4. Neoenergia; 5. COPEL

Adicionalmente à questão da complexidade das cascatas e possível perda de eficiência por externalidades, outra particularidade importante do setor elétrico brasileiro é a existência prévia do Mecanismo de Realocação da Energia (MRE), utilizado tanto para compartilhamento de riscos entre as usinas hidrelétricas quanto para o alinhamento dos incentivos no que diz respeito à sua operação (isto é, a eliminação das externalidades das cascatas hidrelétricas na função objetivo de maximização de receita dos agentes individuais). Nota-se que, ainda que se coloque a possibilidade de revisar o MRE no contexto de uma reforma para introdução de um paradigma de formação de preços baseado em ofertas, esta escolha teria desdobramentos e consequências:

- Em primeiro lugar, uma reforma do MRE traria maior complexidade, impactos, e obstáculos à implementação do novo mecanismo (conforme endereçado no contexto da matriz de risco).
- Visto que os “direitos de propriedade” associados a cada reservatório individual são atualmente *descentralizados* entre todos os agentes do MRE, uma realocação que “centralize” novamente tais direitos de propriedade e torne cada agente responsável unicamente pelo seu reservatório representaria um grande descolamento do status quo atual, e possivelmente exigiria grandes indenizações aos agentes para compensar pelos riscos assumidos.
- Adicionalmente, visto que o sistema elétrico brasileiro é atualmente operado considerando o máximo grau de coordenação possível entre as hidrelétricas do sistema (isto é, sem nenhum custo imposto ao sistema pelas externalidades na operação das cascatas), nota-se que mesmo um custo pequeno que se imponha devido aos custos de transação (digamos, da ordem de 1%, caso fosse implementado um mecanismo baseado na alocação plena dos direitos de propriedade descrito anteriormente e os agentes não fossem capaz de realinhar totalmente as externalidades envolvidas) pode ser inaceitável do ponto de vista sistêmico.

Devido a essas considerações sobre os fundamentos físicos e regulatórios do sistema brasileiro, os consultores acreditam que, para que um paradigma baseado em ofertas seja atraente e implementável no Brasil (levando em conta as restrições e elementos da matriz de risco), é necessário que esteja contemplado algum mecanismo análogo ao MRE (embora não necessariamente ligado a este) para o *compartilhamento* dos direitos de propriedade sobre os reservatórios hidrelétricos.

É com base neste entendimento que a proposta de “reservatórios virtuais” foi desenvolvida e detalhada pioneiramente em 2002 (Comitê de Revitalização, 2002) e posteriormente aprofundada, no contexto do P&D Aneel PD-00403-0050/2020 (PSR, 2021), e esta mesma proposta será utilizada como ponto de partida no presente trabalho e submetida ao escrutínio da Consulta aos especialistas e dos Workshops com a sociedade (vide seção 4.2). Os “reservatórios virtuais” funcionam, em sua essência, pela separação do *armazenamento físico* efetivamente medido nos reservatórios do sistema do *armazenamento virtual* associado à quantidade de créditos de energia armazenada acumulados (e não vendidos) por cada agente individual. A cada instante, deve-se averiguar que a *totalidade* do armazenamento físico (soma dos montantes fisicamente armazenados nos reservatórios de determinado submercado) seja compatível com a *totalidade* do armazenamento virtual (soma dos créditos associados a determinado submercado alocados a todos os agentes do sistema); mas os armazenamentos individuais podem ser muito distintos. Por exemplo, uma grande hidrelétrica A pode ser fisicamente detentora de 50% da energia armazenada no submercado, mas se ela aplicou uma estratégia mais arrojada de venda de créditos de reservatório virtual, ela pode ser detentora de apenas 20% dos créditos de reservatório virtual do sistema.

Vale destacar que a proposta de reservatórios virtuais não é totalmente nova, tendo sido proposta inicialmente no contexto do Comitê de Revitalização do Setor Elétrico em 2002 (Comitê de Revitalização, 2002), posteriormente desenvolvida em uma série de *papers* acadêmicos e revistas (L. A. Barroso et al., 2012; Nazaré et al., 2019; Resende & Cunha, 2022). Esta proposta traz paralelos e inspirações de outras implementações internacionais, como o mecanismo de organização das cascatas do rio Columbia na costa oeste dos Estados Unidos e na usina de Salto Grande na fronteira entre a Argentina e o Uruguai (L. A. Barroso et al., 2012; Ketchum & Barroso, 2006; PSR, 2021). No contexto do GT Modernização do Setor Elétrico, o Grupo Temático de Mecanismos de Formação de Preço também fez menção explícita a este mecanismo no seu relatório final (GT Modernização do Setor Elétrico, 2019), datado de julho de 2019 – em que o mecanismo de reservatórios virtuais é classificado como um mecanismo “híbrido” para a formação de preços envolvendo tanto um modelo computacional quanto as ofertas dos agentes.

Apesar deste longo histórico da proposta de reservatórios virtuais, uma contribuição importante e moderna do P&D Aneel PD-00403-0050/2020 foi o estabelecimento de condições adicionais para o tratamento de casos particulares de modo a garantir de que os sinais de preço aos agentes permaneceriam robustos mesmo em condições anômalas. Considerando que, em um paradigma baseado em ofertas, a segurança de suprimento do sistema é dada pelas estratégias dos agentes, esta é uma *condição necessária* para que o mecanismo possa ser implementado – visto que, do contrário, a distorção nos incentivos dos agentes levariam fatalmente a distorções nas suas estratégias de oferta e, conseqüentemente, a uma perda de eficiência na operação do sistema. Alguns exemplos de tratamentos particulares que foram contemplados neste exercício do P&D são:

- A representação de ofertas para cada “reservatório virtual agregado”, que pode ou não coincidir com um submercado do sistema (permitindo um nível maior ou menor de agregação na representação das ofertas de reservatório virtual).
- A representação do problema de otimização completo envolvendo todas as componentes relevantes: um balanço hídrico físico, um balanço hídrico virtual, e uma equação de equivalência físico-virtual.
- A representação de uma curva-guia na função objetivo de modo a determinar a trajetória de esvaziamento para os reservatórios físicos individuais (visto que as ofertas dos agentes se limitam a determinar a trajetória desejada para o reservatório virtual agregado).
- A representação de vertimentos voluntários de usinas em cascata (de modo a disponibilizar água para a usina a jusante), com a valoração correta em termos de mercado – tendo sido necessário para tal criar uma distinção entre o vertimento “comercializável” e “não comercializável”.
- A representação das equações de balanço de forma a contemplar corretamente cascatas que cruzam a fronteira entre reservatórios virtuais agregados.
- A compatibilidade entre a formulação geral apresentada, mecanismos de liquidação múltipla intradiária, e com a granularidade de preços horária (ou semi-horária) adotada atualmente no Brasil.
- A possibilidade de representação de funções de produção hidrelétrica complexas (fator de produção dependente do nível de armazenamento e do nível de turbinamento).
- A possibilidade de contemplar revisões estruturais no sistema hidrelétrico em momentos discretos – inclusive revisões na topologia do sistema hidrelétrico (entrada de novas usinas), revisões estruturais na função de produção ou na representação de parâmetros físicos do reservatório.
- Caracterização de um mecanismo de “conciliação” que seria feito diariamente para assegurar a manutenção do alinhamento entre o nível de reservatórios físicos e o nível de reservatórios virtuais.
- Distinção entre a conciliação “automática” realizada diariamente com base no balanço hídrico e um procedimento de “reavaliação” realizado esporadicamente com base em medições do nível de armazenamento do reservatório (forçando uma “conciliação” adicional).
- Mecanismo para que a hidrelétrica física possa revisar suas declarações de restrições operativas e de outros parâmetros operativos (inclusive a própria função de produção), recebendo incentivos compatíveis com as declarações.
- Alocação de responsabilidades associadas à violação de restrições ambientais de defluência mínima, de modo a induzir determinados agentes a fazer ofertas de modo a minimizar o risco destas violações.
- Possibilidade de convivência de hidrelétricas “dentro do MRE” (participantes do mecanismo de reservatórios virtuais) e “fora do MRE” (com direitos de propriedade associados ao reservatório físico plenamente alocados ao agente individual, em linha com o mecanismo apresentado anteriormente) em situação de equilíbrio, sem levar a uma “espiral da morte” em nenhum dos dois mercados.

Nota-se que, embora a complexidade do mecanismo seja um custo real que precisa ser contemplado nas análises de viabilidade da implementação, as condições de contorno apresentadas anteriormente (dada a complexidade das cascatas no sistema hidrelétrico brasileiro e a existência do MRE) indicam que pode não haver outra alternativa que seja preferível. Ao longo da elaboração do entregável e.6.r, os consultores explorarão mais a fundo os prós e contras desta implementação e de implementações

alternativas, de modo a construir uma proposta de implementação de um mecanismo baseado em ofertas que seja compatível com a realidade brasileira em todos os seus aspectos.

Vale chamar a atenção em particular para o fato de que, segundo os termos de referência, o tratamento proposto no paradigma de mercado baseado em ofertas a ser desenvolvido para os usos múltiplos da água é de particular interesse para a contratante. Estas discussões e representação de mecanismos de compartilhamento (inclusive o compartilhamento do uso da água entre agentes hidrelétricos e o compartilhamento para usos não relacionados à geração de energia elétrica) também farão parte desta componente de discussão do entregável.

4.1.7. [E.7.R] MONITORAMENTO DE PODER DE MERCADO

NATUREZA DO PRODUTO: Relatório técnico.

PREVISÃO DE INÍCIO: 1 de outubro de 2024 (mês 17).

PREVISÃO DE FINALIZAÇÃO: 31 de março de 2025 (mês 22).

HOUVE ALTERAÇÃO DE ESCOPO? Sim, a análise internacional de ferramentas de mitigação de poder de mercado foi movida para este entregável.

HOUVE ALTERAÇÃO DE PRAZO? Sim, o prazo de finalização foi adiado para o mês 22.

O objetivo do entregável e.7.r é discutir e propor mecanismos para evitar (ou ao menos reduzir) o exercício de poder de mercado em um paradigma de formação de preços baseado em ofertas. As propostas devem levar em conta o desenho de mecanismo definido no entregável e.6.r e as melhores práticas internacionais, motivo pelo qual a análise de ferramentas de mitigação em experiências internacionais é uma componente deste entregável – que estava prevista na proposta original do consultor para o entregável e.3.r, mas foi movida para este entregável (ver seção 4.1.3), implicando em um aumento do tempo de elaboração do entregável, com correspondente adiamento na previsão de finalização.

Uma das preocupações recorrentes em mercados elétricos internacionais quando se avalia a possibilidade de implementação de um paradigma baseado em ofertas é a questão de como os agentes se comportariam na prática, caso tivessem a flexibilidade de fazer ofertas e influenciar a operação do sistema. De um modo geral, pode-se identificar duas possibilidades para as estratégias adotadas pelos agentes em relação ao ótimo para o sistema:

- Uma primeira possibilidade é que os agentes submetam ofertas com quantidades *menores* do que o que seria o ótimo sistêmico (ou ainda ofertas com preços maiores, ou de um modo geral uma curva de oferta deslocada para cima e/ou para a esquerda). Este tipo de evento tipicamente está associado a algum tipo de exercício de poder de mercado (agentes buscando maximizar o seu lucro), e será objeto deste entregável e.7.r.
- Uma segunda possibilidade é que os agentes submetam ofertas para quantidades *maiores* do que o que seria o ótimo sistêmico (ou ainda ofertas com preços menores, ou de um modo geral uma curva de oferta deslocada para baixo e/ou para a direita). Este tipo de fenômeno não permite aos agentes maximizarem o seu lucro, e, portanto, tende a ser menos estudado na literatura – entretanto, no contexto de um mercado com reservatórios hidrelétricos, nota-se que esta estratégia pode estar associada a uma *baixa credibilidade* nos lucros futuros potenciais (ou seja, o agente prefere aumentar a sua oferta para venda imediata do que guardar água para lucro futuro); e que este tipo de estratégia pode levar a riscos à segurança de suprimento. As

consequências deste tipo de comportamento e forma de mitigação serão exploradas em mais detalhe no entregável e.8.r (ver seção 4.1.8).

Embora o “segundo tipo” de distorção seja o objeto central do entregável e.8.r e não deva ser discutido em detalhe neste entregável e.7.r, há um paralelo entre estas duas classes de desafios para a operação do sistema (já que ambas representam distorções entre a estratégia individual dos agentes e as estratégias que levariam ao ótimo social de um modo geral). Há diversos motivos pelos quais pode-se esperar observar *comportamentos atípicos* dos agentes nas suas estratégias de submissão de ofertas (sejam ofertas de preço-quantidade ou declarações de características físicas de operação, em função dos elementos de desenho definidos no entregável e.6.r), e em conjunto estes dois entregáveis tratam da melhor forma de proteger-se deste tipo de situação. Em particular, o comportamento esperado em um paradigma de mercado robusto é que, quando um agente isolado age “irracionalmente” (distorcendo suas ofertas, por exemplo, para quantidades menores), surgem incentivos para que os outros agentes do sistema distorçam suas ofertas na direção oposta (no caso, para quantidades maiores), mantendo a robustez do sistema.

No contexto de comportamentos indesejáveis associados ao exercício de poder de mercado, tema central deste entregável e.7.r, há duas classes de iniciativas importantes comumente aplicadas internacionalmente, e que deverão ser estudadas no contexto deste entregável para que seja feita uma recomendação adaptada à realidade brasileira, conforme será detalhado a seguir: (i) as iniciativas de *monitoramento* de poder de mercado (supervisão, comunicação dos problemas, e eventualmente aplicação de multas ou medidas jurídicas), e (ii) as iniciativas de *mitigação* de poder de mercado, tipicamente associadas à possibilidade de sobrescrever as ofertas submetidas pelos agentes para fins de fechamento do mercado.

4.1.7.1. MONITORAMENTO DE PODER DE MERCADO

Uma pesquisa de experiências internacionais em mercados com paradigma de formação de preços baseado em ofertas sugere que há algumas diferenças de implantação: alguns mercados optam por um monitor *interno* a uma entidade oficial do setor elétrico (operador, regulador ou ministério), outros por um monitor *externo* (tipicamente uma empresa especializada contratada com este fim), e em alguns casos utilizam-se ambos. Na maioria dos casos, o monitor interno está próximo do operador e/ou do regulador, embora seja sempre importante ressaltar a sua independência. Tipicamente, nos mercados analisados, o monitor de mercado publica relatórios trimestrais e anuais (o que não inclui boletins de mercado, que comumente são publicados com frequência maior). Com relação à aplicação de sanções e multas, com exceção dos mercados americanos (PJM e CAISO), todos os mercados analisados dão este poder ao monitor de mercado.

Tabela 8 – Síntese de práticas de monitoramento de mercado em mercados elétricos internacionais (PSR, 2021)

Mercado	Que tipos de monitor existem?	A que entidade o monitor está ligado?	Principais publicações	Pode aplicar multas?
Noruega (Nord Pool)	Interno (NVE) e externo (<i>Market Surveillance</i>)	Operador e regulador	Relatórios trimestrais e anuais	Sim
PJM	Externo (<i>Monitoring Analytics</i>)	Regulador e operador	Relatórios trimestrais e anuais	Não
CAISO	Interno (DMM) e externo (MSC)	Operador	Relatórios trimestrais e anuais	Não
Colômbia	Interno (UMMEG)	Ministério	Relatórios trimestrais e anuais	Sim
Espanha (Mercado Ibérico)	Interno (ERSE e CNMC)	Regulador	Relatórios mensais e anuais (Espanha)	Sim
Nova Zelândia	Interno (EA)	Regulador	Relatórios trimestrais e anuais	Sim (em geral apenas pela via jurídica)
México	Interno (AVM) e externo (MIM)	Regulador e operador	Relatórios diários e anuais	Sim (apenas o interno)

O monitor interno usualmente tem o benefício de ter fácil acesso à informação e aos dados do mercado, por ter uma relação estreita com o operador, o que facilita a atividade de monitoramento e a torna mais ágil e dinâmica. Além disso, evita a necessidade da contratação de um terceiro, reduzindo assim o gasto de tempo com burocracia e o custo adicional de contratação de uma empresa terceirizada. Outro aspecto positivo é que o risco de vazamento de informações sigilosas é reduzido. Por outro lado, mesmo que seja estabelecido como um departamento ou até mesmo empresa independente, é comum que na prática haja pressão de outras empresas ou organizações que estão acima em hierarquia para não publicar informações críticas ou polêmicas.

O monitor externo, por sua vez, é por definição independente de qualquer entidade do setor, o que lhe dá maior liberdade para manifestação – reduzindo significativamente a probabilidade de problemas como o mencionado acima de pressão de outras empresas ou organizações. Ainda relacionado a isso, a adoção de um monitor externo reduz a influência do operador e/ou regulador nos resultados da atividade de monitoramento. Com relação aos custos, apesar de existir o custo de contratação de uma empresa terceirizada, não há o gasto de estruturar uma empresa ou departamento para a função de monitoramento – que pode ser relevante. Finalmente, deve-se ter uma política rigorosa para manter a

segurança dos dados, mas isso se reflete também em uma maior burocracia e dificuldade em acessar os dados do mercado – o que, por sua vez, torna o processo mais lento e menos dinâmico.

A combinação de um monitor interno e um externo une o melhor das duas alternativas, e equilibra a desvantagem de influência e acesso a dados. Por outro lado, traz um custo maior para o sistema. Nesses tipos de implementação, usualmente o monitor interno fica encarregado pelo monitoramento mais relacionado às atividades diárias (mais dinâmicas) do mercado, avaliando o seu funcionamento, validando as ofertas dos agentes, garantindo que as regras estão sendo respeitadas, entre outros aspectos. O monitor externo, por sua vez, usualmente fica responsável por uma análise mais estrutural do mercado, avaliando taxas de concentração de mercado, avaliando o desempenho dos principais resultados e indicadores, e investigando eventos suspeitos.

A recomendação a ser feita para o caso brasileiro em termos de aplicação do monitoramento de mercado levaria em conta estes aspectos, além de características particulares do setor elétrico brasileiro e do desenho de mecanismo proposto no entregável e.6.r. De um modo geral, entretanto, o monitor teria a flexibilidade de propor novas metodologias e novas métricas para o acompanhamento do mercado se julgar desejável para refletir a realidade do sistema, e as principais análises e achados do(s) monitor(es) devem ser divulgados através de relatórios periódicos, aos quais todos os agentes do mercado devem ter acesso.

4.1.7.2. MITIGAÇÃO DE PODER DE MERCADO

O monitoramento de poder de mercado é uma atividade de grande importância por sua flexibilidade, ao permitir que um agente responsável pelo acompanhamento analise os dados das ofertas submetidas pelos agentes e busque identificar evidências de comportamentos indesejáveis. Nos relatórios periódicos do monitor de mercado, podem ser publicadas diferentes análises com diferentes métricas, e podem ser implementadas inovações às metodologias de análise à medida que o mercado se torna mais maduro. Por outro lado, o monitoramento em geral é um processo demorado, já que a punição de agentes que adotaram práticas anticompetitivas identificados por este procedimento em geral se dá por meio de vias legais ou aplicação de multas pelo regulador (dando ao agente o direito de argumentar em sua própria defesa). Consequentemente, é desejável complementar o mecanismo de monitoramento por um mecanismo de *mitigação automática* que permita, no contexto da própria liquidação de mercado, ajustar as ofertas submetidas por algum agente e que sejam consideradas “inaceitáveis” (utilizando algum valor de referência para esse ajuste).

De um modo geral, o mecanismo de mitigação funciona por meio de algum tipo de “gatilho” de acionamento, associado a algum indicador. É importante que este mecanismo seja totalmente transparente e que os agentes sejam capazes de reproduzir o cálculo do indicador que levou à sua mitigação. Em alguns mercados, este procedimento de mitigação depende exclusivamente da oferta do próprio agente – por exemplo, quando o preço da oferta é comparado com um preço de referência (que pode ser um valor fixo para todos os agentes, análogo ao preço-teto, ou calculado com base na estimativa do operador para o custo variável unitário do agente). Em outros mercados, a mitigação depende de métricas sistêmicas, que levam em consideração não apenas a oferta do agente como também as submetidas pelos demais.

Alguns exemplos de métricas sistêmicas comumente utilizadas na experiência internacional são o *Pivotal Supplier Test* (PST) e o Índice de *Herfindahl-Hirschman* (HHI) (Twomey et al., 2005). O PST mede se um

determinado gerador é estritamente necessário para atender à demanda sem violar nenhuma restrição (caso o gerador seja estritamente necessário, ele poderia ofertar um preço muito alto e ainda assim ser aceito, o que justifica a mitigação), e pode ser generalizado para um *n-Pivotal Supplier Test* para fazer referência a um conjunto de *n* geradores sendo estritamente necessários. O HHI é uma métrica para o sistema como um todo, e não para um ofertante específico, mas ele está associado ao grau de concentração de mercado. O HHI é definido como a soma dos quadrados das participações (em % da demanda atendida) de cada um dos agentes do sistema – então, se um único agente atende à totalidade da demanda, o HHI será igual a 1 (ou 10000 na representação em percentuais), o valor máximo possível. Em contraste, se há 3 agentes ofertantes, com participações de mercado respectivamente de 50%, 30%, e 20%, o HHI será de 0.38:

$$HHI_5 = (0.5)^2 + (0.3)^2 + (0.2)^2 = 0.38$$

No entregável e.7.r, espera-se realizar uma análise da experiência internacional e discussão de quais métricas seriam mais adequadas para a atividade de mitigação de poder de mercado, culminando com uma recomendação para os *parâmetros* que poderiam ser utilizados para este procedimento de mitigação. Nota-se que, como descrito acima, a atividade de mitigação pode ser interpretada essencialmente como a aplicação de *limites* às ofertas que podem ser submetidas pelos agentes de mercado. O entregável concluirá com uma proposta de mecanismo(s) à disposição das autoridades relevantes (regulador, operador do mercado, ou outros) para a mensuração, monitoramento e mitigação do poder de mercado, representando uma extensão ao desenho de mecanismo introduzido no entregável e.6.r (e, portanto, compatível com o paradigma de mercado baseado em ofertas e com as características de desenho apresentadas anteriormente). Este detalhamento deverá incluir uma recomendação das métricas específicas que devem ser acompanhadas e dos sistemas que devem ser utilizados para o monitoramento (operacionalização e comparação com *benchmarks*).

Na construção de recomendações para os mecanismos de mitigação de poder de mercado, deve-se atentar para as características particulares do sistema brasileiro, como (i) a operação de usinas em cascata (particularmente sob a estrutura de incentivos caracterizada no entregável e.6.r, e em que medida o poder de mercado permanece uma preocupação) e (ii) em situação de elevada concentração de mercado pela atividade comercial de grandes players. Os consultores respaldarão suas recomendações com métricas calculadas para o mercado elétrico brasileiro.

4.1.8. [E.8.R] GERENCIAMENTO DE RISCO SISTÊMICO

NATUREZA DO PRODUTO: Relatório técnico.

PREVISÃO DE INÍCIO: 1 de janeiro de 2025 (mês 20).

PREVISÃO DE FINALIZAÇÃO: 31 de maio de 2025 (mês 24).

HOUVE ALTERAÇÃO DE ESCOPO? Não.

HOUVE ALTERAÇÃO DE PRAZO? Não.

O objetivo central do presente entregável é propor um mecanismo para gerenciamento de risco sistêmico (proteger o sistema contra ofertas dos agentes que resultem em esvaziamento dos reservatórios), considerando o paradigma de formação de preços baseado em ofertas e o desenho de mecanismo apresentado até aqui (entregáveis e.6.r e e.7.r).

O objetivo fundamental do gerenciamento de risco sistêmico é criar camadas de proteção que permitam garantir o equilíbrio do sistema físico, e vale notar que uma componente importante deste gerenciamento de risco é a representação de serviços ancilares para resposta rápida do sistema. O desenho de mecanismo proposto para a representação dos serviços ancilares já terá sido detalhado no entregável e.6.r – entretanto, pode ser relevante a retomada das discussões associadas a este tema em um contexto mais especificamente associado ao risco sistêmico, traçando paralelos com experiências internacionais e possibilidades de refinamentos ao mecanismo.

No contexto do mercado elétrico brasileiro, entretanto, os mecanismos de gerenciamento do risco sistêmico estão em sua maioria ligados ao risco hidrológico – como é o caso da Curva de Aversão ao Risco, Superfície de Aversão ao Risco, CVaR na função objetivo, Procedimentos Operativos de Curto Prazo, e outros procedimentos que alteram as regras de despacho de modo a evitar o esvaziamento excessivo dos reservatórios ao longo de determinado período. Este será, conseqüentemente, a principal componente a ser explorada neste entregável e.8.r.

4.1.8.1. FUNDAMENTOS PARA A APLICAÇÃO DE MECANISMOS CENTRALIZADOS DE AVERSÃO AO RISCO SISTÊMICO

Em caso de identificação de risco sistêmico, a proposição de mecanismos a serem utilizados pelo operador, a fim de reestabelecimento do equilíbrio sistêmico. Endereçar os rebatimentos comerciais necessários para tornar as ações propostas viáveis comercialmente.

Em termos de segurança energética, nota-se que um mecanismo totalmente liberal de oferta de preços em princípio permitiria que os níveis operativos dos reservatórios fossem guiados única e exclusivamente pela visão de agentes do que diz respeito ao valor da energia neles armazenada. Isto porque as operações de enchimento e esvaziamento seriam motivadas pela combinação de ofertas de compra e venda de energia submetidas individualmente pelos agentes (seguindo os paradigmas apresentados no entregável e.6.r). Em um mecanismo baseado em ofertas bem desenhado, o “valor da água” dos agentes calculado no contexto da sua maximização de lucro é equivalente ao “valor da água” calculado de forma centralizada pelo operador do sistema.

Embora seja desejável que a operação sistêmica seja de fato guiada pela visão de valor da água armazenada dos agentes de mercado, questões físicas e comerciais podem de muitas maneiras afetar a segurança de abastecimento. Em parte, estas questões físicas possam ser mitigadas por desenhos de mercado mais refinados – por exemplo, valorando corretamente os serviços ancilares prestados pelas hidrelétricas, o que aumentaria os incentivos a manter os reservatórios cheios. Entretanto, há sempre a possibilidade de algum tipo de atuação “irracional” dos agentes nas suas estratégias de oferta, o que pode justificar a introdução de mecanismos centralizados de aversão ao risco como uma “última linha de proteção” para proteger o sistema de um esvaziamento indevido dos reservatórios apesar das ofertas dos agentes.

De um modo geral, a principal motivação que pode induzir os agentes de mercado a ofertar quantidades de energia *maiores* no mercado (levando a uma redução no nível dos reservatórios e, portanto, a um aumento no risco de acionamento dos mecanismos de risco sistêmico) seria a falta de credibilidade nas receitas futuras – especialmente considerando que fenômenos como a aversão ao risco do agente individual ou a sua capacidade de exercício de poder de mercado tendem a ir na direção oposta (promovendo um aumento no nível dos reservatórios em média). Em particular, a aplicação de um preço-

teto baixo para a valoração das vendas de energia tende a induzir os agentes a esvaziarem os seus reservatórios, e caso um mecanismo de gerenciamento de risco fosse implementado nessas condições (sem corrigir o problema fundamental, que seriam os sinais de preços percebidos pelos agentes), todo o mecanismo de despacho e formação de preços se tornaria inócuo (e a operação dos reservatórios passaria a ser governada exclusivamente pelo critério de gerenciamento de risco sistêmico).

Conseqüentemente, no contexto de um paradigma de mercado baseado em ofertas, uma das principais preocupações para o mecanismo de gerenciamento de risco sistêmico é que ele deve *formar preços*, evitar qualquer tipo de distorção nos incentivos de longo prazo aos agentes ofertantes (particularmente os agentes ofertantes que têm direitos de propriedade sobre os reservatórios do sistema), e possivelmente também ser acompanhados de mecanismos que garantem maior credibilidade às oportunidades de lucro desses agentes no futuro (de modo a incentivá-los a manter volumes armazenados mais elevados *voluntariamente*). Caso o mecanismo de gerenciamento de risco sistêmico siga estes princípios base e se mostre *crível*, ele pode trazer resultados benéficos para o sistema ainda que não seja acionado diretamente, simplesmente devido à sua influência sobre as perspectivas de lucros futuros dos agentes (e, portanto, sobre as suas estratégias de oferta).

Esta propriedade, de que um mecanismo de gerenciamento de risco sistêmico pode quase nunca ser acionado, e ainda assim contribuir para o bom funcionamento do mercado, implica que mesmo mecanismos de gerenciamento de risco relativamente simples podem ser suficientes. A título de exemplo, tanto na Colômbia quanto na Nova Zelândia, mercados baseados em oferta, o mecanismo de gerenciamento de risco sistêmico se limita à imposição de um *preço mínimo* às ofertas que podem ser submetidas pelos agentes detentores de hidrelétricas com reservatório em situações de hidrologia crítica – o princípio fundamental sendo que não é desejável esvaziar os reservatórios muito rapidamente nessas condições (deslocando termelétricas na ordem de mérito), mas que fora dessas situações é possível deixar que as forças de mercado governem a gestão deste armazenamento.

4.1.8.2. CONSOLIDAÇÃO E RECOMENDAÇÃO DE PROCEDIMENTOS

Visto que, conforme detalhado anteriormente, mesmo mecanismos relativamente simples para gerenciamento do risco sistêmico podem ser efetivos, pode-se caracterizar um mecanismo por meio de três principais componentes – sendo que, no entregável e.8.r, seria apresentada uma recomendação consolidada para cada uma destas componentes:

- Um critério de “gatilho” para o acionamento do mecanismo – isto é, a determinação de um indicador para representar uma “situação hidrológica crítica”, bem como o valor-limite a partir do qual tal a situação crítica estaria caracterizada (caso o indicador esteja aquém do limite, o mecanismo de gestão de risco não é acionado). Nota-se que este critério deve estar altamente correlacionado com a possibilidade de insuficiência de suprimento futura (a depender de realizações estocásticas).
- Um critério de “disposição a pagar” caso o gatilho seja acionado – que tem paralelos, no caso do mercado colombiano e neozelandês, com o parâmetro de preço mínimo aplicado nos respectivos mecanismos. A ideia é que quando o gatilho é acionado o preço de venda associado à energia armazenável nos reservatórios não deve ser muito baixo, de modo a valorar corretamente o risco percebido de uma crise hídrica futura.
- Um critério de alocação final do mecanismo em termos de responsabilidades e fluxos financeiros. Dois mecanismos comumente utilizados são (i) responsabilidade exclusiva do agente

detentor de direitos de propriedade do reservatório (ele é obrigado a ofertar um preço maior ou igual à disposição a pagar em eventos em que o “gatilho” é acionado); e (ii) responsabilidade de um agente centralizado, análogo a um “comprador de última instância”, que assume temporariamente os direitos de propriedade sobre a energia armazenada (remunerando o agente detentor do reservatório anteriormente de acordo com a “disposição a pagar”).

Após a recomendação de critérios a serem utilizados, os consultores apresentarão estimativas quantitativas concretas para estes parâmetros com base em uma representação realista do mercado elétrico brasileiro, e apresentarão comparações com o histórico de realizações do mercado elétrico brasileiro para discutir o quão raro espera-se que o acionamento desse mecanismo seja no futuro. Embora, evidentemente, a analogia com o histórico seja imperfeita no contexto de um novo paradigma de mercado baseado em ofertas (e insights adicionais poderão ser desenvolvidos no contexto do entregável e.9.r), estes exercícios indicativos iniciais têm valor para dar robustez à análise.

4.1.9. [E.10.R] IMPACTOS REGULATÓRIOS E LEGADOS

NATUREZA DO PRODUTO: Relatório técnico.

PREVISÃO DE INÍCIO: 1 de fevereiro de 2025 (mês 21).

PREVISÃO DE FINALIZAÇÃO: 31 de agosto de 2025 (mês 27).

HOUE ALTERAÇÃO DE ESCOPO? Sim, a análise qualitativa de impactos comerciais foi movida do e.9.r para este entregável e.10.r.

HOUE ALTERAÇÃO DE PRAZO? Sim, o prazo de finalização foi adiantado para o mês 27.

Dando continuidade às análises de impacto comercial apresentadas no entregável e.6.r, o entregável e.10.r será um relatório técnico com o objetivo de discutir tópicos regulatórios e comerciais relevantes para a implementação de um mecanismo de formação de preços por oferta conforme proposto no entregável e.6.r. Em particular, este relatório apresentará um diagnóstico dos impactos que podem decorrer da adoção do preço por oferta, uma atualização da matriz de risco originalmente apresentada no entregável e.6.r (incorporando novas informações e percepções coletadas ao longo do projeto), um mapeamento das necessidades de revisão dos processos internos e padrões de contrato dos agentes oriundos das novas formas de contabilização e liquidação, e uma discussão de adequados tratamentos para os contratos legados em face da migração.

Vale notar que, na proposta dos consultores, parte destas análises qualitativas de impactos comerciais estava prevista para ser explorada no relatório e.9.r. Entretanto, devido à natureza mais quantitativa das conclusões do entregável e.9.r e do fato de que este seria dependente do entregável de software e.9.s, consideramos que esta atividade se encaixa melhor no entregável e.10.r. Assim, o entregável e.10.r concentraria toda a discussão qualitativa acerca dos impactos regulatórios, comerciais, processuais e financeiros da transição para um mercado por ofertas. Com esta reorganização das atividades entre os entregáveis e.9.r e e.10.r, o cronograma foi ajustado em relação à ata de negociação para que o entregável e.9.r seja finalizado em um momento cronologicamente posterior, podendo incorporar aprofundamentos quantitativos adicionais sobre qualquer um dos temas do entregável e.10.r.

Um dos objetivos centrais do entregável e.10.r é antecipar possíveis fontes de litígios devido à adaptação dos contratos vigentes, levando em conta a abrangência e profundidade das alterações relacionadas a um processo de migração de um paradigma baseado em custos a um paradigma baseado em ofertas.

O relatório deverá ter a profundidade e detalhamento necessários para tornar possível esta antecipação de riscos pelas instituições do setor elétrico brasileiro afetadas.

Nota-se que, na maior parte dos casos, o objetivo não é promover qualquer tipo de alteração nos contratos vigentes – embora a mudança nas regras de liquidação de mercado possa implicar em variações no perfil de risco implícito (para ao menos uma das contrapartes envolvidas), ao menos os modelos de contrato tradicionais no mercado livre e no mercado regulado poderiam continuar como antes. Entretanto, é possível que algumas cláusulas destes contratos possam necessitar de tratamentos específicos, o que também será avaliado pelos consultores. Adicionalmente, há outros contratos de natureza específica que devem ser avaliados individualmente – tais como Energia de Reserva, PROINFA, Itaipu, Energia Nuclear e de Cotas de Garantia Física. Quaisquer outros impactos contratuais que possam decorrer da adoção do preço por oferta também devem ser identificados e qualificados.

A questão a ser avaliada está menos na representação dos contratos em si e mais nas categorias de agentes *blindados de risco* pelos termos legados destes contratos – visto que um agente blindado de risco não tem os incentivos corretos para participar de um mercado baseado em ofertas (e as distribuidoras, atuais contrapartes de muitos desses contratos que blindam os agentes de risco, tampouco possuem os incentivos necessários para fazer ofertas no mercado). Neste contexto, será apresentado neste entregável e.10.r um mapeamento mais detalhado das principais categorias de agentes afetados por estes legados, associando-os a parâmetros quantitativos se possível. Em particular, além do montante total de representatividade destas principais categorias de agentes em termos de produção ou consumo total (MW médios), deve-se buscar fazer uma estimativa da mensuração das necessidades de reequilíbrio econômico dos contratos.

Os resultados em termos financeiros podem resultar, por um lado, algum tipo de “custo firme” associado à migração para o paradigma baseado em ofertas (que precisaria ser compensado), mas por outro lado também algum tipo de *“windfall profit”* que poderia ser negociado ou capturado em negociações. Adicionalmente, cabe uma discussão sobre o nível de risco que precisaria ser assumido pelos agentes com a migração, e em que medida estratégias de mitigação deste risco seriam possíveis.

A partir deste levantamento qualitativo inicial, os consultores poderão apresentar:

- Para quais categorias de agentes são necessárias adaptações, e para que categorias de agentes tais adaptações são mais urgentes.
- Quais seriam os possíveis tratamentos para os contratos legados, e em que medida seria possível incentivar os agentes a fazer uma transição voluntária.
- Que regras de transição poderiam ser adotadas.

Nota-se que, em particular, as regras de tratamento para os agentes hidrelétricos participantes do MRE estariam sujeitas à análise proposta, considerando o que foi apresentado no entregável e.6.r no que diz respeito à necessidade de adaptação deste mecanismo para a implementação do novo paradigma de mercado.

4.1.9.1. IMPACTOS REGULATÓRIOS

Uma atividade, relativamente autocontida, deste Entregável e.10.r é o mapeamento descritivo dos impactos regulatórios advindos do processo de migração. Esta atividade representa em parte uma continuidade da atividade de mapeamento de obstáculos à implementação detalhados no entregável

e.6.r, mas trazendo elementos mais concretos sobre o que precisaria ser revisado e alterado em termos de normas e legislação, além de dar destaque para os riscos e obstáculos em um contexto mais pontual e específico no lugar de um contexto macro. Considerando que este entregável seria finalizado após a realização de 4 workshops com a sociedade e após os importantes aprofundamentos dos entregáveis e.7.r e e.8.r, certamente haveria novos detalhamentos que poderiam ser consolidados neste entregável. Com esta informação adicional, deve-se destacar no material os principais desafios regulatórios a serem tratados para a implementação de um novo paradigma de formação de preços para o Brasil.

Está previsto, em particular, um mapeamento dos Decretos, Portarias, Resoluções, Regras, Procedimentos e outros normativos que necessitarão de alterações regulatórias; além de um detalhamento das alterações necessárias no Mecanismo de Realocação de Energia (MRE) em Regras/Procedimentos de Comercialização de modo a implementar o desenho de mecanismo recomendado no entregável e.6.r.

4.1.9.2. IMPACTOS COMERCIAIS

Está previsto como parte do entregável e.10.r o mapeamento descritivo dos impactos comerciais advindos do processo de migração, dando continuidade às análises preliminares representadas no entregável e.6.r.

Uma categoria de impactos comerciais relevantes seria a necessidade de revisão dos processos internos dos agentes oriundos das novas formas de contabilização e liquidação, e da necessidade de elaborar estratégias para a submissão de ofertas de mercado. Os consultores apresentarão discussões sobre uma eventual resistência dos agentes e sobre eventuais custos de transação desta migração.

Finalmente, os consultores também discutirão expectativas de mudanças nos padrões de contrato que seriam negociados, levando em conta as novas estruturas de incentivos do desenho de mercado baseado em ofertas proposto. A discussão será posta do ponto de vista de diferentes classes de agentes (consumidores, geradores e comercializadores).

4.1.10. [E.9.R] IMPACTOS QUANTITATIVOS DA MIGRAÇÃO

NATUREZA DO PRODUTO: Relatório técnico.

PREVISÃO DE INÍCIO: 1 de maio de 2025 (mês 24).

PREVISÃO DE FINALIZAÇÃO: 31 de outubro de 2025 (mês 29).

HOUVE ALTERAÇÃO DE ESCOPO? Sim, a análise qualitativa de impactos comerciais foi movida para o e.10.r.

HOUVE ALTERAÇÃO DE PRAZO? Sim, o prazo de finalização foi adiado para o mês 29.

O relatório técnico e.9.r tem por objetivo uma avaliação dos impactos quantitativos (por exemplo, o impacto em custos e preços de energia) decorrentes de eventual migração para um paradigma de formação de preços por ofertas nos moldes da proposta no entregável e.6.r. As análises serão baseadas na execução de simulações de mercado utilizando o software correspondente ao entregável e.9.s (ver seção 4.3.4), como detalhado na seção 4.1.10.1.

Vale notar que na proposta dos consultores, estava previsto neste entregável também a discussão qualitativa de alguns impactos comerciais, mais especificamente, o mapeamento das necessidades de

revisão dos processos internos e padrões de contrato dos agentes oriundos das novas formas de contabilização e liquidação. Devido à natureza mais quantitativa das conclusões do entregável e.9.r, com foco no uso de ferramentas computacionais, consideramos que esta atividade se encaixa melhor no entregável e.10.r. Assim, o entregável e.10.r concentraria toda a discussão qualitativa acerca dos impactos regulatórios, comerciais, processuais e financeiros da transição para um mercado por ofertas.

Devido a essa reorganização entre as atividades dos entregáveis e.9.r e e.10.r e pela relação deste entregável com relação ao e.9.s, cuja previsão de entrega é somente no mês 26 (ver seção 4.3.4), ele foi adiado para o mês 29 (posteriormente, portanto, à entrega do e.10.r). Isso garante maior tempo hábil para simulações com as ferramentas computacionais desenvolvidas, e consequente aumento da robustez das conclusões; e permite eventuais aprofundamentos quantitativos que sejam necessários acerca dos temas do entregável e.10.r.

4.1.10.1. SIMULAÇÕES DE EQUILÍBRIO DE MERCADO BASEADO EM OFERTAS

Um dos objetivos do entregável e.9.r é uma análise comparativa em base quantitativa entre os resultados de mercado baseado em custos e os resultados de mercado baseado em ofertas. O paradigma para estas simulações será o software descrito no âmbito do entregável e.9.s, e, a partir de uma representação simplificada do sistema elétrico brasileiro, serão obtidas distribuições de probabilidade para uma série de variáveis de interesse (realizando simulações estocásticas nos dois cenários possíveis, um paradigma de mercado baseado em custos e um paradigma de mercado baseado em ofertas), em particular dos resultados de preço (volatilidade dos preços).

Espera-se analisar em detalhe contrastes entre o comportamento das duas distribuições em situações particularmente adversas:

- Como as situações “adversas” na simulação baseada em custos e na simulação baseada em ofertas se comparam? Por exemplo, o quão críticos são (em termos de nível de armazenamento, probabilidade de corte de carga, e outras métricas de natureza “física”) os cenários correspondentes a percentis críticos em cada uma das simulações?
- Como os resultados de preço marginal se comparam nas situações adversas das duas simulações?
- Como as estratégias de oferta dos agentes se comparam nas situações adversas das duas simulações?

Adicionalmente, espera-se fazer simulações para averiguar a efetividade das ações propostas no entregável e.7.r e no entregável e.8.r – na prática, seriam feitas simulações do mecanismo baseado em ofertas em quatro contextos (com ambos os mecanismos, apenas com o mecanismo de mitigação de poder de mercado ativo, apenas com o mecanismo de gerenciamento de risco sistêmico ativo, e sem nenhum dos dois mecanismos), e os resultados seriam comparados. Evidentemente, seria dada ênfase a métricas de interesse para mensurar o exercício de poder de mercado e a ocorrência de eventos de risco sistêmico, de modo a averiguar a eficácia do mecanismo; e estes mecanismos seriam comparados ainda com a linha de base representando o paradigma baseado em custos.

4.1.10.2. LIMITAÇÕES DO EXERCÍCIO COMPARATIVO

Nota-se que, para a realização dos exercícios quantitativos para a comparação entre os resultados do mecanismo baseado em custos e do mecanismo baseado em ofertas, é necessário adotar algumas

hipóteses subjacentes – particularmente no que diz respeito à representação da *qualidade da informação disponível* aos diferentes tipos de agente. Devido à dificuldade de se estabelecer parâmetros para este ganho em qualidade da informação, a maior parte das simulações de equilíbrio de mercado e análises comparativas serão feitas sob a hipótese de que *não há qualquer ganho informacional* com a migração de um mercado baseado em custos para um mercado baseado em ofertas. Isto significa, intrinsecamente, que as simulações apresentadas anteriormente são enviesadas, dando uma vantagem inerente ao mecanismo baseado em custos, devido a este desafio de quantificação.

Fundamentalmente, é de se esperar que exista algum ganho informacional (ainda que a magnitude deste efeito seja difícil de quantificar), visto que (i) a informação privada à qual os agentes têm acesso no contexto dos seus próprios ativos é, em geral, mais acurada do que a informação pública à qual o agente operador tem acesso, e (ii) os agentes privados muitas vezes podem ser mais rápidos em incorporar nova informação às suas estratégias de oferta do que agentes centralizados – o que pode ser especialmente valioso em situações de grande incerteza (como o choque de demanda provocado pela pandemia, mudanças nos padrões de vazão resultantes das mudanças climáticas, e outros casos). Cabe, conseqüentemente, uma discussão ao menos qualitativa sobre um possível ganho informacional (respaldados, sempre que possível, por exemplos concretos e histórico de mercado) e as conseqüências desse ganho para os resultados quantitativos apresentados.

Nota-se que uma limitação da análise histórica de possíveis vieses é que, uma vez que o viés se torna claro o suficiente para ser identificado com análises quantitativas, é relativamente simples fazer o ajuste da representação da distribuição de probabilidades do operador, o que por sua vez eliminaria o ganho informacional imediato da migração para um mecanismo baseado em ofertas (já que o operador já estaria utilizando uma informação mais acurada e idêntica à utilizada pelos agentes). Em vez disso, a interpretação do ganho informacional está associada à observação de que, mesmo após a correção de um viés particular, sempre haveria outras possibilidades de aprimoramento na representação das incertezas e estocasticidade – e tais aprimoramentos são de natureza tal que, em geral, agentes privados descentralizados poderiam encontrá-los com mais facilidade do que um agente centralizado.

4.1.11. [E.11.R] CRONOGRAMA DE IMPLANTAÇÃO

NATUREZA DO PRODUTO: Relatório técnico.

PREVISÃO DE INÍCIO: 1 de julho de 2025 (mês 26).

PREVISÃO DE FINALIZAÇÃO: 30 de novembro de 2025 (mês 30).

HOUE ALTERAÇÃO DE ESCOPO? Não.

HOUE ALTERAÇÃO DE PRAZO? Não.

Sendo o último entregável relatório do projeto, um dos objetivos centrais do entregável e.11.r é ser uma referência técnica, sumarizando os desenvolvimentos realizados ao longo do projeto e apresentando um mapa de uso dos relatórios técnicos anteriores para referência futura. Poderão ser feitas revisões finais a qualquer um dos relatórios técnicos anteriores em função de nova informação que tenha ficado disponível no curso do projeto, garantindo a coerência do conjunto do material. A versão final de todos os relatórios funcionará como um “anexo eletrônico” ao entregável e.11.r, e será disponibilizada no Portal do Projeto.

Será apresentado um sumário das principais análises, levantamentos, e conclusões do projeto, destacando em particular o resultado consolidado das discussões de prós e contras de se manter o paradigma atual baseado em custos ou migrar para o mecanismo baseado em ofertas conforme avaliado ao longo do projeto – levando em conta as análises fundamentalistas e baseadas na experiência internacional do entregável e.4.r, as análises qualitativas e quantitativas do entregável e.9.r, e o mapeamento de desafios do entregável e.10.r.

Além disso, o entregável e.11.r deve também apresentar um detalhamento de cronograma de ações que se recomenda realizar para que sejam implementados aprimoramentos ao paradigma de mercado e formação de preços no setor elétrico brasileiro. Este cronograma deve ser construído de acordo com as recomendações finais do trabalho e com o mapeamento realizado dos principais obstáculos e desafios (de natureza regulatória, comercial, e outras categorias) para a implementação de mudanças. Em particular, este cronograma deve contemplar:

- Iniciativas de aprimoramento ao paradigma de formação de preços atual que possam ser implementadas independentemente da migração para um paradigma de formação de preços baseada em ofertas – e, conseqüentemente, compatíveis com a manutenção de um paradigma baseado em custos (em linha com o discutido nos entregáveis e.4.r e.2.r2).
- Descrição do passo a passo de iniciativas necessárias para viabilizar a migração a um paradigma baseado em ofertas no lugar do paradigma baseado em preços atual, e um indicativo de duração exigida por cada etapa, de modo a propor um cronograma mais concreto e detalhado para as iniciativas.
- Apresentação de uma estratégia para a “transição” do paradigma de mercado anterior para o novo paradigma de mercado, em particular endereçando (i) o tratamento dos contratos e compromissos legados, (ii) a eventual criação de novos agentes “intermediadores” para atuação no mercado em nome de agentes blindados de risco que prefiram não participar do mercado baseado em ofertas, e (iii) a eventual realização de um período de “operação sombra” antes da implementação definitiva do novo mercado.
- Apresentação de uma estratégia para o treinamento dos agentes e das instituições de setoriais em conceitos fundamentais do paradigma de formação de preço. Elementos deste treinamento incluiriam não apenas descrição do novo mecanismo proposto (seja um mecanismo baseado em custos ou um mecanismo baseado em ofertas) e do cronograma de implantação proposto, como também mudanças necessárias e esperadas para a sua implementação (inclusive legais, regulatórias, e nos compromissos legados dos agentes). Os agentes de mercado em particular devem ser treinados para familiarizar-se com possíveis riscos da atuação no novo mecanismo e princípios básicos para definir estratégias de oferta.

Nota-se que, na consolidação da recomendação de cronograma de implementação, deve-se considerar os avanços realizados ao longo do presente trabalho e que poderiam contribuir para reduzir o tempo necessário para esta implantação. Em particular, o ponto de partida representado pelas atividades de treinamento às instituições (entregáveis do grupo 5, descritos nas seções 4.2.2 e 4.2.3), jogos de mercado (entregável e.7.w, descrito na seção 4.2.6), e *softwares* disponibilizados (entregáveis e.6.s, e.7.s, e.8.s e e.9.s, descritos na seção 4.3) seriam valiosos no processo proposto.

4.2. ENTREGÁVEIS EVENTO

4.2.1. [E.4.W] WORKSHOP 1 - PERCEPÇÃO DA SOCIEDADE E CONDICIONANTES

NATUREZA DO PRODUTO: Workshop presencial.

PREVISÃO DE INÍCIO DA PREPARAÇÃO: 1 de julho de 2023 (mês 2).

PREVISÃO DE REALIZAÇÃO: outubro de 2023 (mês 5).

HOUE ALTERAÇÃO DE ESCOPO? Não.

HOUE ALTERAÇÃO DE PRAZO? Sim, o prazo de finalização foi adiado para o mês 5.

O primeiro entregável do projeto é a realização do primeiro workshop com envolvimento da sociedade, que faz parte do Grupo 4 de entregáveis. Este workshop seria construído a partir de fundamentos base dos mercados baseados em custos e dos mercados baseados em oferta, e seria muito ancorado na experiência brasileira (que, embora corresponda fundamentalmente a um mercado baseado em custos, possui alguns elementos que dão flexibilidade aos agentes ofertantes de forma similar aos mercados por oferta). Nesta ocasião, espera-se realizar enquetes com os participantes, de modo a coletar informação valiosa de como o setor percebe esta dicotomia entre mercados baseados em custos e baseados em oferta, e quais as principais condições de contorno que devem ser respeitadas para a implementação viável de aprimoramentos ao mecanismo. Os resultados de tais enquetes seriam incorporados ao relatório e.4.r, de análise de vantagens e desvantagens de cada tipo de mecanismo.

Em princípio, de acordo com o paradigma proposto pelos consultores, este workshop seria realizado em caráter presencial com transmissão simultânea on-line de modo a atingir o maior número possível de participantes, e seriam incluídos no programa falas iniciais das instituições do setor elétrico brasileiro e participações especiais de especialistas internacionais.

Optou-se por adiar a realização deste evento em relação à proposta dos consultores, para que a notícia de realização do workshop atinja o maior número possível de pessoas, atraindo mais agentes para a discussão, e para melhor divulgação de seus resultados. Com este intuito, prevemos quatro meses de preparação do workshop, durante os quais serão construídos: um portal web público para ampliar a divulgação deste e de futuros workshops; e a infra-estrutura para realização deste e dos demais eventos previstos ao longo do projeto. Esse investimento maior na infra-estrutura, ainda que adie o primeiro workshop, será fundamental para que o projeto tenha maior publicidade e engajamento da sociedade.

4.2.2. [E.5.W1] TREINAMENTO EM DESENHO DE MERCADO

NATUREZA DO PRODUTO: Treinamento (aulas) e material didático correspondente.

PREVISÃO DE INÍCIO DA PREPARAÇÃO: 1 de novembro de 2023 (mês 6).

PREVISÃO DE REALIZAÇÃO: março de 2024 (mês 10).

HOUE ALTERAÇÃO DE ESCOPO? Não.

HOUE ALTERAÇÃO DE PRAZO? Sim, o prazo de finalização foi adiado para o mês 10.

No âmbito das atividades do Grupo 5, está prevista a realização de um treinamento que seria focado em aspectos fundamentais e práticos do desenho de mercados elétricos, trazendo elementos de discussão em linha com o material produzido até o momento: os entregáveis dos Grupos 2, 3 e 4.

O conteúdo do material didático a ser produzido (em formato de *slide deck*) será produzido em parte pela PSR e em parte por parceiros, e embora possa possuir material novo seu conteúdo não deverá contradizer o que foi apresentado nos entregáveis e.2.r1, e.3.r e.4.w. A versão final dos slides será

disponibilizada em formato eletrônico após o evento. Será ainda disponibilizado aos participantes do treinamento um meio de comunicação para esclarecer suas dúvidas posteriormente.

O treinamento foi adiado em relação à proposta do consultor (do mês 8 para o mês 10) em virtude dos adiamentos das entregas anteriores (e.4.w, e.2.r1 e e.3.r), que serão insumo importante para este treinamento, e de forma a aumentar o tempo hábil para preparação do material, com impactos significativos na qualidade do curso.

4.2.2.1. CONTEÚDO PROGRAMÁTICO

Embora o conteúdo programático do curso esteja sujeito a adaptações em função dos resultados das pesquisas realizadas ao longo da elaboração dos entregáveis e.2.r1 e e.3.r, é de se esperar que o conteúdo do treinamento deva contemplar, como mínimo, os seguintes elementos (trazendo, sempre que aplicável, tanto discussões baseadas em fundamentos de mercado como experiências concretas de mercados internacionais):

- Fundamentos básicos de mercados competitivos de energia elétrica.
 - Diferenças cruciais com modelos centralizados.
 - Características básicas da formação de preços e variações de desenho.
 - Mercados com liquidações únicas e múltiplas.
- Tendências históricas e atuais no desenho de mercados de energia elétrica.
 - “Modelo americano” VS “Modelo europeu”.
 - Modelo *pool* VS *self-dispatch*.
 - Co-otimização de energia e reservas e o mercado de serviços ancilares.
 - Novos produtos: mercados *energy-only*, produto confiabilidade, certificados verdes.
- Paradigmas de formação de preço: baseado em custos e baseado em ofertas.
 - Características fundamentais e contrastes.
 - Adaptações, implementações concretas de paradigmas de formação de preço, e modelos “híbridos”.
 - Externalidades que causam desequilíbrios em mercados de energia elétrica (geração em cascatas, concentração de mercado, arbitragens por limitação de redes e etc).
 - Esquemas de equilíbrio de mercado da operação hidrelétrica em cascatas.
 - Formas de mitigação de poder de mercado.
- Relação com o mercado de contratos e riscos.
 - O mercado de contratos (financeiros) e dinâmica com o mercado de curto prazo.
 - Bolsa de energia, *clearing house*, e métodos de mitigação de risco de contraparte.

4.2.2.2. ESTRUTURA DO TREINAMENTO

Estima-se que o treinamento será ministrado ao longo de 3 a 5 dias (a ser determinado), com transmissão on-line a participantes que não possam participar presencialmente e gravação em vídeo para registro e disseminação posterior. O local do treinamento será provido pela CCEE.

Ao menos parte deste treinamento seria ministrado em inglês com participação de especialistas internacionais (participantes da equipe consultora).

Nos outros dias, em princípio o treinamento seria ministrado presencialmente na sede da CCEE em São Paulo, em idioma português. Para os dias do treinamento, o contratante se compromete a disponibilizar sala de treinamento com equipamento de projeção.

A responsabilidade de fazer a divulgação do treinamento e o convite aos participantes em potencial (com foco em colaboradores da CCEE e outras instituições do setor elétrico brasileiro) caberá à CCEE. Os consultores se reservam o direito de convidar participantes adicionais na modalidade on-line (sem limite) e até 8 participantes presenciais (entre pessoas responsáveis pelo treinamento e pessoas que apenas assistiriam).

Os consultores providenciarão um número de apostilas impressas com os slides apresentados ao longo do treinamento (e com espaço adicional para anotações) em linha com o número de participantes presenciais esperado. Tais apostilas correspondem ao material didático previsto para o curso.

4.2.3. [E.5.W2] VISITAS TÉCNICAS INTERNACIONAIS

NATUREZA DO PRODUTO: Visitas técnicas + relatório de avaliação.

PREVISÃO DE INÍCIO DA PREPARAÇÃO: 1 de fevereiro de 2024 (mês 9).

PREVISÃO DE REALIZAÇÃO: maio de 2024 (mês 12).

HOUVE ALTERAÇÃO DE ESCOPO? Não.

HOUVE ALTERAÇÃO DE PRAZO? Não.

A análise de experiências internacionais será chave para discussão de estratégias de desenho de mercado, possibilitando aprender com os erros e acertos de outros mercados. Embora diferentes mercados internacionais tenham características diferentes (em termos do sistema físico, conjuntura econômica, marco legal e regulatório, elementos sociais e ambientais, entre outros aspectos), o que pode dificultar a aplicação direta das experiências de um país a outro, a troca de experiências pode levar a discussões muito ricas e valiosos pontos de vista.

Está prevista a realização de visitas técnicas presenciais a 3 diferentes países com implementação de mecanismos baseados em custos e baseados em ofertas, por uma delegação selecionada pelo contratante. Estas visitas técnicas, realizadas após o treinamento e, portanto, respaldadas por um conhecimento mais profundo sobre os mercados de interesse, permitiriam entrevistar agentes de mercado, operadores, e outras instituições – de modo a extrair lições aprendidas e percepções em primeira mão. A participação nestas Visitas Técnicas deve ser mais restrita que a participação no Treinamento (entregável e.5.w1), mas as principais conclusões extraídas destas visitas poderiam ser compartilhadas amplamente com os demais participantes do Treinamento. A recomendação dos consultores para a composição desta delegação (prevista no orçamento proposto) seria: (i) ao menos uma pessoa realizando a função de apoio local, selecionada e contratada pela equipe consultora, (ii) duas outras pessoas da equipe consultora, (iii) quatro pessoas da CCEE, e (iv) quatro pessoas de outras instituições parceiras do setor elétrico brasileiro, convidadas a critério da CCEE.

Conforme proposta dos consultores, os países visitados seriam em princípio a Noruega, a Colômbia e El Salvador – vale destacar, entretanto, que como estas visitas ainda estão em fase de idealização e planejamento, poderá haver mudanças se for necessário:

- A Noruega, sede do mercado baseado em ofertas Nordpool, representa não apenas uma referência internacional em desenho de mercado como também constitui um país com elevada participação de geração hidrelétrica na matriz, o que leva a preocupações e prioridades de natureza diferente dos mercados majoritariamente termelétricos (e mais em linha, consequentemente, com a realidade brasileira).

- A Colômbia representa o mais antigo caso de um mercado baseado em ofertas na América Latina, e também possui grande participação hidrelétrica na sua matriz. Os paralelos entre o caso colombiano, norueguês e brasileiro, com suas semelhanças e diferenças, permitirá extrair lições valiosas.
- A América Central trata-se de um conjunto de mercados nacionais independentes e com formação de preços baseada em custos¹; com os intercâmbios internacionais entre países sendo governados pelo Mercado Elétrico Regional (MER) que adota um paradigma baseado em ofertas.

Adicionalmente, está prevista a elaboração de um Relatório Técnico documentando tanto o treinamento quanto as Visitas Técnicas realizadas. Deve-se contemplar neste relatório (i) a lista dos participantes treinados, (ii) questionários de avaliação individual dos participantes a respeito do treinamento, e (iii) uma breve descrição do conteúdo programático (com referência para o material didático compartilhado separadamente).

4.2.4. [E.2.W] WORKSHOP 2 - APRIMORAMENTOS AO PARADIGMA DE FORMAÇÃO DE PREÇOS NO BRASIL

NATUREZA DO PRODUTO: Workshop online.

PREVISÃO DE INÍCIO DA PREPARAÇÃO: 1 de junho de 2024 (mês 13).

PREVISÃO DE REALIZAÇÃO: julho de 2024 (mês 14).

HOUVE ALTERAÇÃO DE ESCOPO? Não.

HOUVE ALTERAÇÃO DE PRAZO? Não.

O segundo workshop destinado à sociedade seria realizado on-line e seria amplamente divulgado às Instituições Setoriais e Agentes do setor. Este workshop apresentará as principais conclusões dos entregáveis do Grupo 2, que dizem respeito à implementação de aprimoramentos de desenho do mercado brasileiro mantendo o paradigma atual de despacho e formação de preços baseados em custos. Também serão apresentados aprimoramentos que poderiam ser implementados independentemente do paradigma selecionado (baseado em custos ou baseado em ofertas).

4.2.5. [E.6.W] WORKSHOP 3 - DESENHO BASE DE MERCADO POR OFERTA

NATUREZA DO PRODUTO: Workshop presencial.

PREVISÃO DE INÍCIO DA PREPARAÇÃO: 1 de outubro de 2024 (mês 17).

PREVISÃO DE REALIZAÇÃO: novembro de 2024 (mês 18).

HOUVE ALTERAÇÃO DE ESCOPO? Não.

HOUVE ALTERAÇÃO DE PRAZO? Não.

Em princípio, de acordo com o paradigma proposto pelos consultores, o terceiro workshop destinado à sociedade seria realizado em caráter presencial com transmissão simultânea on-line e seria amplamente divulgado às Instituições Setoriais e Agentes do setor. Haveria a apresentação das principais

¹ Honduras e Costa Rica adotam uma estrutura de mercado verticalizado e, portanto, não há o conceito de “formação de preços”, embora o paradigma utilizado para o despacho nesses dois países seja a minimização de custos totais.

condicionantes consideradas na construção da proposta de novo paradigma de formação de preço baseada em oferta para o Brasil, um detalhamento deste procedimento idealizado, e de uma discussão dos principais obstáculos e dos *tradeoffs* envolvidos com a implementação de um mecanismo como este. O objetivo deste workshop seria dar transparência e fomentar a discussão relativa aos entregáveis do projeto (em particular o conteúdo do Grupo 6 de entregáveis).

4.2.6. [E.7.W] JOGOS DE MERCADO

NATUREZA DO PRODUTO: Mini-workshops.

PREVISÃO DE INÍCIO DA PREPARAÇÃO: 1 de dezembro de 2024 (mês 19).

PREVISÃO DE FINALIZAÇÃO: março de 2025 (mês 22).

HOUE ALTERAÇÃO DE ESCOPO? Não.

HOUE ALTERAÇÃO DE PRAZO? Sim, o prazo de finalização foi adiantado para o mês 22.

Como descrito anteriormente, uma componente importante para a análise da matriz de risco das consequências da implantação de um mecanismo baseado em ofertas é o mapeamento dos comportamentos típicos das estratégias de agentes em situações que emulam as regras de mercado propostas, e com este objetivo os consultores propõem a realização de alguns mini-workshops em pequenos grupos para obter informações a respeito deste resultado. Nota-se que, para a realização destes jogos de mercado, seria utilizado o software do entregável e.7.s, descrito na seção 4.3.2.

A realização desta atividade implica em uma etapa importante de *idealização*, em que seria construído um “roteiro” para os jogos de mercado a serem executados. Em particular, para este roteiro, é interessante definir:

- Uma série de simplificações ao desenho de mecanismo proposto, que facilitem o entendimento por parte dos participantes, mas que ainda preservem as características centrais para que as conclusões do exercício tenham relevância para o mercado brasileiro. É importante lembrar que os mini-workshops teriam curta duração e é desejável que os agentes sejam capazes de dominar rapidamente o entendimento do mecanismo.
- Um plano para a realização de mini-workshops, inclusive datas e convidados participantes. A sugestão dos consultores é que todos os mini-workshops sejam restritos a convidados, e que sejam realizados 5 eventos ao todo. O primeiro evento deve ser realizado com a participação exclusiva de colaboradores da CCEE e instituições próximas, e pode levar a revisões de formato para os eventos subsequentes. Para os eventos subsequentes, sugere-se realizar convites a agentes do setor, almejando realizar 2 eventos em que os agentes ofertantes participantes sejam representados por colaboradores de mais alto escalão e tomadores de decisão estratégica, e 2 eventos em que os participantes sejam colaboradores de perfil mais técnico.
- Um plano para a sequência de problemas que seriam apresentados aos participantes em cada mini-workshop – definidos em termos de dados do sistema físico e de dados de caracterização dos agentes proprietários. Idealmente, deve-se realizar múltiplas iterações de mercado utilizando o mesmo sistema fundamental, com pequenas variações; e os agentes devem receber feedback imediato para as consequências das escolhas feitas em cada etapa. É importante levar em consideração ainda que os agentes podem precisar de algum tempo para familiarizar-se com a interface para a submissão de ofertas e com o funcionamento do mecanismo.
- Deve haver ainda um modelo de questionário final a ser respondido pelos participantes do workshop, onde eles possam dar o seu *feedback* sobre o evento.

A equipe consultora contará com especialistas de porte como *advisors* para preparar o roteiro dos jogos de mercado e apresentar uma síntese dos principais resultados (anonimizados).

Durante a revisão do cronograma contido na proposta original do consultor, observou-se que a construção deste roteiro poderia começar já com a entrega da versão de homologação da plataforma web (entregável e.7.s), o que ocorreria em dezembro de 2024. Portanto, optou-se por adiantar o início e término deste entregável em relação à ata de negociação.

4.2.7. [E.8.W] WORKSHOP 4 - RISCO SISTÊMICO E PODER DE MERCADO

NATUREZA DO PRODUTO: Workshop online.

PREVISÃO DE INÍCIO DA PREPARAÇÃO: 1 de maio de 2025 (mês 24).

PREVISÃO DE REALIZAÇÃO: junho de 2025 (mês 25).

HOUE ALTERAÇÃO DE ESCOPO? Não.

HOUE ALTERAÇÃO DE PRAZO? Não.

Está previsto no âmbito dos entregáveis do Grupo 8 a realização do quarto workshop à sociedade. Em princípio, de acordo com o paradigma proposto pelos consultores, este workshop seria realizado on-line e seria amplamente divulgado às Instituições Setoriais e Agentes do setor. Este workshop apresentaria as principais conclusões dos relatórios e.7.r e e.8.r, acerca de monitoramento de poder de mercado e gerenciamento de risco sistêmico. Neste workshop, além dos princípios fundamentais explorados e recomendações de desenho, também seriam apresentadas as conclusões preliminares dos exercícios de jogos de mercado.

4.2.8. [E.11.W] WORKSHOP 5 - RECOMENDAÇÕES PARA A FORMAÇÃO DE PREÇO DA ENERGIA NO BRASIL

NATUREZA DO PRODUTO: Workshop presencial.

PREVISÃO DE INÍCIO DA PREPARAÇÃO: 1 de setembro de 2025 (mês 28).

PREVISÃO DE REALIZAÇÃO: novembro de 2025 (mês 30).

HOUE ALTERAÇÃO DE ESCOPO? Não.

HOUE ALTERAÇÃO DE PRAZO? Não.

Finalmente, está prevista a realização de um Workshop final de conclusão do projeto no âmbito dos entregáveis do Grupo 11, o quinto workshop. Este *workshop* seria amplamente divulgado entre instituições setoriais e agentes do setor elétrico brasileiro, com o apoio tanto da contratante quanto da equipe consultora. A proposta é que este workshop seja realizado em formato presencial, embora com transmissão simultânea on-line, de forma a dar destaque para o evento, mas ainda atingir o máximo de público.

Esta representa mais uma oportunidade de fomentar a discussão com a sociedade, em que seriam apresentados os principais resultados dos entregáveis elaborados ao longo de todo o projeto, e em que haveria um espaço de destaque para palestrantes proeminentes (tanto do setor elétrico brasileiro quanto especialistas internacionais).

4.3. ENTREGÁVEIS SOFTWARE

4.3.1. [E.6.S] MODELO DE DESPACHO

NATUREZA DO PRODUTO: Ferramenta Computacional + Manual.

PREVISÃO DE INÍCIO: 1 de outubro de 2023 (mês 5).

PREVISÃO DE FINALIZAÇÃO: 31 de setembro de 2024 (mês 16).

HOUVE ALTERAÇÃO DE ESCOPO? Não.

HOUVE ALTERAÇÃO DE PRAZO? Sim, o prazo de finalização foi adiantado para o mês 16.

Associado ao entregável e.6.r estaria o desenvolvimento de uma ferramenta computacional para a determinação do preço e do despacho comercial em função das ofertas dos agentes, com o objetivo de emular o procedimento que seria parte da rotina do setor com a implementação de um paradigma de mercado baseado em ofertas. Esta ferramenta seria desenvolvida em código aberto, e no Portal do projeto seria disponibilizado *link* para o acesso (i) ao código fonte, (ii) a executáveis compilados da última versão estável do programa, (iii) a manuais de uso e documentação do software, e (iv) a bases de dados “exemplo” para facilitar o uso amplo deste modelo.

A funcionalidade chave que deverá ser implementada no entregável e.6.s é o *fechamento de mercado* (*market clearing*), além da integração deste procedimento com a representação do *sistema físico* (mais detalhes sobre as funcionalidades esperadas serão detalhados mais adiante). Seguindo melhores práticas internacionais, o procedimento de *market clearing* será representado por meio de um modelo de otimização que recebe as ofertas dos agentes como dado de entrada, e que resulta nas alocações de quantidades despachadas de cada ofertante (variáveis primais) e preços de equilíbrio (variáveis duais). É interessante destacar que, embora o paradigma de formação de preços por custos seja às vezes referenciado como um paradigma de formação de preços “por modelo”, mesmo no caso de paradigmas de formação de preços por oferta em geral há um modelo sendo utilizado (a distinção chave sendo que os *dados de entrada* deste modelo são populados pelos agentes). Na Europa, por exemplo, os mercados baseados em oferta têm seu fechamento de mercado realizado pelo software EUPHEMIA (*Pan-European Hybrid Electricity Market Integration Algorithm*), desenvolvido pela N-Side, empresa participante da equipe consultora.

Espera-se utilizar no desenvolvimento deste modelo como infraestrutura crucial: (i) o pacote JuMP para a formulação do problema de otimização, e (ii) o solver HiGHS, gratuito e aberto, para a solução eficiente do problema. Além de a equipe consultora contar com ampla experiência com o uso destas ferramentas, as parcerias que seriam construídas com estas equipes no âmbito do presente projeto contribuiriam para uma aproximação ainda maior e oportunidades de cooperação para entregar um produto com a máxima qualidade possível e que possa ser utilizado por uma ampla gama de interessados (entre acadêmicos, agentes do setor, e tomadores de decisão).

É importante destacar que este mesmo *software* será a base dos entregáveis e.7.s, e.8.s, e e.9.s – de modo que a especificação cuidadosa do que será desenvolvido neste entregável e.6.s garantirá uma base sólida para o que será desenvolvido posteriormente. Por este mesmo motivo, optou-se por adiantar o início e término da elaboração deste entregável em relação à proposta original dos consultores, o que permite que os entregáveis de software posteriores iniciem seus trabalhos com um estágio mais avançado da ferramenta e evita que eventuais atrasos neste entregável impactem os seguintes. Também garante tempo hábil para a entrega de uma versão de homologação para a equipe da CCEE.

O gerenciamento do desenvolvimento da ferramenta e controle de versões será organizado pela equipe de *software* participante da equipe consultora, e versões estáveis serão disponibilizadas através de *link* no Portal do projeto.

4.3.1.1. FUNCIONALIDADES BÁSICAS DO SOFTWARE

Antes de descrever as especificações, vale destacar que o software a ser desenvolvido possui dois conjuntos de dados de entrada principais:

- Um conjunto de dados representando o *sistema físico*, que deverá incluir toda a informação a respeito dos ativos presentes no sistema – inclusive demandas, geradores de diferentes tipos, informações da rede elétrica e limites de interconexão, dados de reservatório hidrelétrico, e outros parâmetros.
- Um conjunto de dados representando a *caracterização dos agentes proprietários*, que contém informações sobre as relações de propriedade entre os ativos físicos e os agentes do sistema e que pode conter ainda informações adicionais sobre o agente (como o seu nome, caracterização das suas preferências, e contratos de longo prazo vigentes – o que se traduziria em estratégias).
- Um conjunto de dados representando as *ofertas submetidas*, que segue os formatos determinados na proposta de mecanismo detalhada no entregável e.6.r e que podem diferir dos dados de entrada representando o sistema físico (visto que elas refletem as estratégias adotadas pelos agentes). Cada agente proprietário submete um conjunto de dados deste tipo para cada um dos ativos sob o seu controle.

Cada um destes conjuntos de dados pode ser bastante extenso, contendo dados horários e múltiplos cenários de modo a representar a incerteza das realizações – o que deve estar contemplado nos formatos de dado de entrada que serão definidos e especificados na documentação do *software*. Vale destacar ainda que pode haver discrepâncias significativas entre a forma de representação das ofertas e a forma de representação do sistema físico – o que será explorado em mais detalhe no entregável e.6.r e com o apoio dos especialistas participantes da equipe consultora. A título de exemplo, a tabela abaixo apresenta uma síntese da estrutura das ofertas neutras à tecnologia utiliza no *software* EUPHEMIA, e nota-se que é necessário algum processamento para “traduzir” um aspecto do sistema físico (como por exemplo um custo de *start-up*) em um dos formatos de oferta padrão (como por exemplo uma “*regular block order*”). Evidentemente, a estrutura de ofertas que será recomendada no entregável e.6.r levará em consideração as particularidades do sistema brasileiro, de modo que pode haver maior ou menor pontos de similaridade entre a representação das ofertas e a representação do sistema físico.

Tabela 9 – Síntese dos principais “tipos” de oferta disponíveis no software EUPHEMIA e suas características

Bid Format	Description
Simple orders:	-
Hourly step orders	Buy or sell orders for a given volume and a limit price. It can be partially accepted if the market clearing price is equal to the bid price.
Hourly linear piecewise order	Buy or sell order for a given volume and a pair of prices: An initial price at which the orders begin to be accepted and a final price at which the order is totally accepted.
Block orders:	-
Regular block order	Buy or sell order for a single price and volume and a period of consecutive hours that can only be totally accepted.
Profile block order	Regular block order that can be partially accepted, it includes a minimum acceptance ratio condition.
Exclusive block orders	Set of block orders in which the sum of accepted ratios cannot exceed one.
Linked block orders	Set of block orders where the acceptance of some blocks (children) is conditioned to the acceptance of others (parents).
Flexible block order	Price and volume combination that can be accepted in several consecutive periods within a defined delivery range.
Complex conditions:	-
Minimum Income	Condition to reject all hourly orders of a resource if its daily remuneration does not reach the minimum income amount, defined by a fixed and a variable component.
Load gradient	Limit to the variation between the accepted volume at a period and the accepted volume at the adjacent periods

Ainda que o foco principal deste entregável e.6.s esteja na representação do paradigma de mercados baseados em ofertas, é relevante ainda considerar o grau de detalhamento da representação dos dados do sistema físico – em particular, que tipos de restrições físicas deverão ser representadas em detalhe (entre custos de arranque e parada, rampas, restrições de soma de interconexão, restrições de soma de circuito, restrições de mínimo *uptime* e *downtime*, e uma série de outras componentes). Ao menos em princípio, é interessante que o conjunto de restrições físicas que possa ser representado no *software* a ser desenvolvido seja alinhado com a representação atualmente utilizada no DESSEM, software para despacho e formação de preços aplicado no mercado elétrico brasileiro. Entretanto, ao longo da elaboração deste entregável e.6.s, será necessário avaliar *tradeoffs* entre o aumento da complexidade de representação das restrições do sistema físico com os refinamentos do desenho de mercado baseado em ofertas – particularmente na eventualidade de alguma revisão nos paradigmas de representação de dados no DESSEM ao longo da execução do presente projeto. De uma forma geral, a equipe consultora se esforçará para incluir uma gama mais ampla de restrições físicas realistas na representação dos dados de sistema físico, e a especificação final destes dados será apresentada na documentação deste entregável e.6.s.

A partir destes conjuntos de dados de entrada, pode-se descrever as funcionalidades principais do *software* em três principais módulos – cada um dos quais teria o seu próprio conjunto de dados de saída (que seriam, evidentemente, salvos após a execução do modelo segundo formatos estruturados que serão especificados na documentação do modelo):

- O primeiro módulo, correspondente aos *wizards de oferta*, representa a conversão de *informações do sistema físico* em um conjunto de dados de *ofertas dos agentes* (usando as informações de caracterização dos agentes proprietários). Este módulo pode ser interpretado como uma

representação direta de qual seria a estratégia de oferta adotada pelo agente (admitindo que os arquivos de dados de caracterização contêm uma descrição completa da sua estratégia), ou como uma “recomendação inicial” de oferta que o agente operador poderia enviar aos agentes como ponto de partida (“traduzindo” o conjunto de ofertas físicas em um conjunto de ofertas virtuais sem contemplar a estratégia dos agentes). A primeira interpretação é aplicável quando o software é utilizado em uma situação *standalone* – entretanto, no entregável e.7.s, o *software* será adaptado para permitir a participação de jogadores humanos, o que cria dinâmicas adicionais exploradas mais adiante.

- O segundo módulo, correspondente ao *fechamento de mercado*, representa o uso das informações de *ofertas dos agentes* para determinar uma alocação de quantidades a serem geradas ou consumidas (variáveis primais) e resultados de preços de mercado (variáveis duais). Nesta etapa de *market clearing*, em geral utiliza-se muito pouca ou nenhuma informação sobre o sistema físico – os próprios agentes têm incentivo, por exemplo, para submeter ofertas que não ultrapassem a capacidade de produção do ativo físico, de modo que não são necessárias validações adicionais. Entretanto, a representação do tratamento das hidrelétricas que será explorada no entregável e.6.r poderá levar à representação limitada de alguns elementos do sistema físico no problema de otimização – o que será apresentado e desenvolvido na documentação do *software*.
- O terceiro módulo, correspondente à *conciliação de resultados*, utiliza os resultados de fechamento de mercado do módulo 2 em conjunto com as informações do sistema físico de modo a fazer uma consolidação final das consequências físicas da operação de mercado, bem como a consolidação de resultados financeiros para cada agente individual. Em particular, esta etapa de conciliação final deve levar em conta os parâmetros físicos do sistema (em particular a representação dos reservatórios, cascatas, e funções de produção hidrelétricas para fins de balanço hídrico), os desvios em tempo real na demanda e na produção renovável (que podem ser diferentes da melhor informação disponível no momento em que os agentes submeteram suas ofertas para o módulo anterior), e as regras de mercado no que diz respeito à liquidação e estabelecimento de fluxos financeiros (a ser estabelecidos no entregável e.6.r).

Nota-se que, em particular, os três módulos descritos acima permitem não apenas a aferição de preços marginais (módulo 2) como também a incorporação de regras de liquidação como preço-piso, preço-teto, contratos e encargos (módulo 3). A formulação do software deverá levar em conta aspectos do desenho de mecanismo proposto no entregável e.6.r no que diz respeito, por exemplo, ao número de liquidações intradiárias (liquidação única, dupla ou múltipla), à granularidade espacial dos preços (zonal ou nodal), e à introdução ou não de uma representação de um “produto reserva”. Os consultores buscarão adotar uma representação que permita mais flexibilidade na representação de algumas escolhas de desenho – entende-se que esta estratégia permitirá examinar em mais detalhe o espaço de possibilidades e até mesmo realizar análises comparativas das consequências de se implementar diferentes escolhas de desenho em termos quantitativos. Entretanto, devido aos custos de complexidade de se manter tais escolhas flexíveis, a priorização de quais elementos de desenho deverão ser selecionados para representação mais flexível no software deverá ser construída em conjunto com a contratante ao longo da execução do projeto.

4.3.2. [E.7.S] PLATAFORMA ONLINE

NATUREZA DO PRODUTO: Ferramenta Computacional + Manual.

PREVISÃO DE INÍCIO: 1 de junho de 2024 (mês 13).

PREVISÃO DE FINALIZAÇÃO: 31 de janeiro de 2025 (mês 20).

HOUVE ALTERAÇÃO DE ESCOPO? Não.

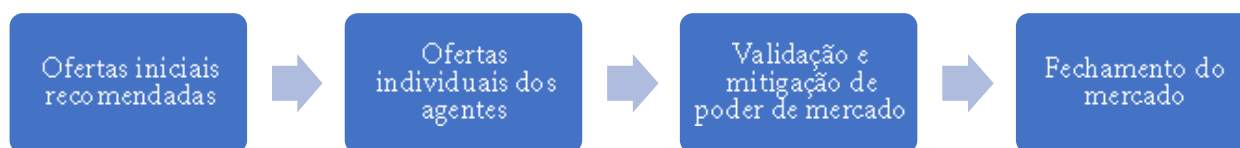
HOUVE ALTERAÇÃO DE PRAZO? Não.

Como descrito anteriormente, os entregáveis e.7.s, e.8.s e e.9.s todos representam extensões do entregável e.6.s, e conseqüentemente os mesmos paradigmas já discutidos no âmbito do entregável e.6.s permanecem válidos – entre eles, a representação de um problema de otimização utilizando a infraestrutura JuMP e HiGHS, a representação de diferentes conjuntos de dados de entrada (representando dados do sistema físico, caracterização dos agentes proprietários, e ofertas submetidas), e as diferentes funcionalidades (wizards de oferta, fechamento de mercado, e conciliação de resultados).

Cabe destacar que, no que diz respeito ao módulo de *wizards* de oferta detalhado no entregável e.6.s, nota-se que o operador do sistema não possui em geral informação perfeita – e, portanto, os parâmetros do sistema físico aos quais o operador tem acesso (e representados como dado de entrada do *software*) podem não coincidir com os parâmetros verdadeiros percebidos por cada agente. Conseqüentemente, é importante, dentro do paradigma de mercado baseado em ofertas, que os agentes sejam livres para ignorar as ofertas “recomendadas” pelo agente operador, sobrescrevendo-as de acordo com as suas preferências reais e/ou de acordo com as informações privadas que detenham. Com isto em mente, o objetivo central deste entregável e.7.s é trazer refinamentos à representação do procedimento de comunicação entre o agente operador e os agentes ofertantes – o que, além de constituir uma descrição mais realista da rotina que seria executada pelo operador na prática após a implementação do paradigma de mercado baseado em ofertas, também viabiliza tanto a realização de jogos de mercado quanto a incorporação de critérios de mitigação de poder de mercado ao software (ambos objetivos importantes do entregável e.7.r).

De forma esquemática, o procedimento de submissão de ofertas que seria emulado pelo entregável e.7.s pode ser sintetizado com o seguinte fluxograma:

Figura 4 – Fluxograma de funcionamento da plataforma online e comunicação com usuários



- A primeira etapa, de construção de *ofertas iniciais recomendadas*, seria executada pelo operador do sistema utilizando o próprio módulo de *wizards* de oferta do entregável e.6.s. A interpretação deste resultado no contexto do entregável e.7.s, entretanto, é que estas ofertas iniciais são “parâmetros de referência” que poderão ser utilizados pelo operador no procedimento de validação e mitigação do poder de mercado.
- A segunda etapa, de recebimento das *ofertas individuais dos agentes*, representa simplesmente o envio de mensagens eletrônicas entre o agente operador e os agentes ofertantes. Nota-se que é desejável para máxima transparência que o operador divulgue as suas “ofertas iniciais recomendadas” associadas a cada agente individual para o agente em questão; e os agentes deverão por sua vez submeter as suas próprias ofertas individuais ao operador. Está prevista

como parte do entregável e.7.s a preparação de uma plataforma *on-line* em que essa comunicação entre o operador e os agentes possa realizar-se.

- A terceira etapa, correspondente à *validação e mitigação de poder de mercado*, representa o momento em que o operador aplica os procedimentos de mitigação de poder de mercado detalhados no entregável e.7.r, em linha com a recomendação dos consultores. Efetivamente, nesta etapa, as ofertas individuais dos agentes poderão ser parcialmente ou totalmente substituídas pelas ofertas de referência (ofertas iniciais recomendadas) de acordo com regras pré-estabelecidas.
- Finalmente, as ofertas mitigadas resultantes deste procedimento seguem para a etapa de fechamento do mercado (e, posteriormente, para a etapa de conciliação de resultados) – que correspondem aos mesmos módulos já disponíveis no entregável e.6.s.

Nota-se que a maior parte do esforço de desenvolvimento do entregável e.7.s está associada à preparação de uma plataforma *web* para o modelo, o que permitiria habituar as instituições e o mercado para o mecanismo de mercado proposto, e possibilitar a sua validação conjunta – além de representar uma componente crucial para a realização dos jogos de mercado introduzidos no contexto do entregável e.7.r. Esta plataforma deverá contar com duas telas de visualização principais (além de telas auxiliares, como aquelas em que usuários podem fazer ajustes de configurações), uma direcionada para o agente ofertante e outra para o agente operador. O agente ofertante deve ser capaz de visualizar informações parciais (referentes exclusivamente aos ativos da sua propriedade), informações agregadas simplificadas referentes ao sistema como um todo, e as “ofertas iniciais recomendadas” submetidas pelo operador a este agente específico, e também deve ter a possibilidade de editar e submeter a sua “oferta individual revisada” por meio da interface. Já o agente operador deve ser capaz de visualizar informações referentes ao sistema como um todo, deve ter a possibilidade de “iniciar” uma rodada de mercado (disponibilizando ofertas iniciais recomendadas aos agentes), visualizar (mas não editar) as ofertas submetidas pelos agentes, visualizar um resumo da lista de agentes e quais já submeteram ou não as suas ofertas, e “finalizar” uma rodada de mercado (seguindo automaticamente para a etapa de validação e fechamento do mercado). Após a finalização da rodada de mercado, resultados gerais do mercado seriam apresentados tanto para o agente operador quanto para os agentes ofertantes (quantidades alocadas, preços, receitas totais, e afins). Também é interessante que o histórico de rodadas de mercado permaneça disponível para consulta.

Vale notar que, na prática, a rotina do mercado por oferta envolveria a “finalização” de uma rodada de mercado em um horário específico (limite para submissão de ofertas pelos agentes); embora a funcionalidade de finalizar a rodada por iniciativa do operador seja útil no contexto dos jogos de mercado. É relevante mencionar ainda que, de uma forma geral, cada agente pode ter informação privada sobre os seus próprios ativos que seja de melhor qualidade do que a melhor informação disponível para o operador; mas que a informação que o agente possui sobre os ativos dos outros agentes em geral deve ser de menor qualidade do que a informação disponível para o operador.

Nota-se que toda a especificação apresentada até aqui é independente do mecanismo de mitigação de poder de mercado introduzido, podendo ser aplicado qualquer mecanismo ou critério construído na elaboração do entregável e.7.r. De modo a dar destaque para o mecanismo de mitigação, entretanto, prevê-se a apresentação de mensagens (tanto na tela do operador quanto na tela dos agentes ofertantes) indicando se foi identificada a necessidade de aplicar o procedimento de mitigação de poder de mercado para aquela iteração de mercado em particular. O conteúdo desta mensagem dependerá

das recomendações que serão apresentadas no entregável e.7.r – opcionalmente, pode-se incluir apenas a informação binária (houve ou não um evento de mitigação), o nome do agente e/ou ativos mitigados, os parâmetros que haviam submetidos e/ou após a mitigação (preços, quantidades, ou outros atributos de oferta), o critério específico (métrica, valor da métrica, e valor limite) que levou ao evento de mitigação, e outras características.

4.3.3. [E.8.S] VALIDAÇÃO DE OFERTAS

NATUREZA DO PRODUTO: Ferramenta Computacional + Manual.

PREVISÃO DE INÍCIO: 1 de janeiro de 2025 (mês 20).

PREVISÃO DE FINALIZAÇÃO: 31 de maio de 2025 (mês 24).

HOUE ALTERAÇÃO DE ESCOPO? Não.

HOUE ALTERAÇÃO DE PRAZO? Não.

Como descrito anteriormente, os entregáveis e.7.s, e.8.s e e.9.s todos representam extensões do entregável e.6.s, e conseqüentemente os mesmos paradigmas já discutidos no âmbito do entregável e.6.s permanecem válidos – entre eles, a representação de um problema de otimização utilizando a infraestrutura JuMP e HiGHS, a representação de diferentes conjuntos de dados de entrada (representando dados do sistema físico, caracterização dos agentes proprietários, e ofertas submetidas), e as diferentes funcionalidades (*wizards* de oferta, fechamento de mercado, e conciliação de resultados).

Como discutido anteriormente, o entregável e.8.r culminará com a construção de uma proposta de mecanismo para o gerenciamento de risco sistêmico, e este entregável e.8.s apresentará uma proposta de operacionalização do mecanismo proposto e de sua incorporação ao *software* desenvolvido no âmbito do presente projeto.

Nota-se que este entregável envolveria essencialmente os seguintes aprimoramentos ao modelo:

- A implementação de um “módulo” adicional, correspondente ao procedimento de *cálculo de critérios de segurança de suprimento* (adicionalmente aos módulos introduzidos no contexto do entregável e.6.s), que resultaria na determinação de um conjunto de parâmetros que determinem o critério de “gatilho” e o critério de “disposição a pagar” (segundo os critérios apresentados no entregável e.8.r).
- Os dados de “gatilho” e “disposição a pagar” devem então ser utilizados pelo software na etapa de *validação de ofertas e mitigação* (introduzida na descrição do entregável e.7.s) de modo a alterar as ofertas efetivamente percebidas para efeito de liquidação. Em função do critério de alocação final do mecanismo recomendado no entregável e.8.r, este passo pode envolver a criação de uma nova oferta (correspondente ao “agente comprador de última instância”) ou a modificação das ofertas do(s) agente(s) detentores de créditos de reservatório virtual – de forma muito similar à apresentada no entregável e.7.s, mas aplicando um limite mínimo no lugar de um limite máximo ao preço de oferta.
- Por último, em função do critério de alocação final do mecanismo recomendado no Entregável e.8.r, pode haver ainda uma alteração no cálculo das receitas de cada agente na etapa de conciliação de resultados (que, como introduzido no entregável e.6.s, representa um dos principais módulos previstos para o *software*).

Nota-se que, de um modo geral, o procedimento de cálculo de critérios de segurança de suprimento não precisaria ser revisitado com muita frequência – a título de exemplo, os parâmetros da Curva de Aversão

ao Risco, por exemplo, são recalculados com frequência apenas anual. Isto é natural, visto que os critérios de segurança de suprimento tendem a ser *estruturais* para o sistema, e visto que os volumes armazenados e afluências variam muito raramente entre um dia e outro (quando seria realizada uma nova iteração do mercado). Apesar desta característica, a disponibilização da funcionalidade de recálculo dos critérios de segurança de suprimento de forma mais perene permite o uso desta ferramenta para o *acompanhamento* da métrica de risco – utilizando a diferença entre o valor atual e o valor crítico selecionado para o critério de “gatilho” como um indicador de criticalidade do sistema.

Com estes aprimoramentos, o *software* estaria pronto para a avaliação quantitativa de simulações de mercado, de modo a avaliar o comportamento esperado dos agentes e do mercado em situações de iminência do risco sistêmico (e, conseqüentemente, averiguar a efetividade do mecanismo proposto de gerenciamento de risco). Tais elementos serão explorados em mais detalhe com a apresentação de estudos de caso no contexto do entregável e.9.r.

4.3.4. [E.9.S] MODELO DE EQUILÍBRIO

NATUREZA DO PRODUTO: Ferramenta Computacional + Manual.

PREVISÃO DE INÍCIO: 1 de agosto de 2024 (mês 15).

PREVISÃO DE FINALIZAÇÃO: 31 de julho de 2025 (mês 26).

HOUVE ALTERAÇÃO DE ESCOPO? Não.

HOUVE ALTERAÇÃO DE PRAZO? Não.

Como descrito anteriormente, os entregáveis e.7.s, e.8.s e e.9.s todos representam extensões do entregável e.6.s, e conseqüentemente os mesmos paradigmas já discutidos no âmbito do entregável e.6.s permanecem válidos – entre eles, a representação de um problema de otimização utilizando a infraestrutura JuMP e HiGHS, a representação de diferentes conjuntos de dados de entrada (representando dados do sistema físico, caracterização dos agentes proprietários, e ofertas submetidas), e as diferentes funcionalidades (*wizards* de oferta, fechamento de mercado, e conciliação de resultados).

O objetivo central do entregável e.9.s é constituir uma ferramenta que permita avaliar uma eventual migração do paradigma de formação de preço por custo para o paradigma de formação de preço por oferta. Com este fim, há três principais desafios a serem vencidos, para os quais será desenvolvida uma especificação ao longo da execução do projeto.

4.3.4.1. ESTRATÉGIAS DE SIMPLIFICAÇÃO DA REPRESENTAÇÃO DO SISTEMA

Nota-se que, para que os resultados do entregável e.9.s sejam relevantes para análises comparativas dos dois paradigmas de mecanismo de formação de preços sendo avaliados, é interessante que a representação do sistema físico utilizada nas simulações seja em algum sentido representativa da realidade do sistema brasileiro. É de se esperar que sistemas com características diferentes resultem conclusões também muito diferentes para a eficácia de modelos de mercado, de modo que uma maior aderência entre a realidade do sistema e a realidade da representação deve ser uma prioridade.

Por outro lado, a representação *completa* do sistema brasileiro pode ser inviável em termos computacionais, considerando o tamanho do problema, a estocasticidade intrínseca das tomadas de decisão, e os horizontes de muito longo prazo envolvidos para o esvaziamento dos reservatórios e implicações para a representação da política operativa – como será explorado em detalhe mais adiante,

na discussão sobre a representação das funções de custo futuro. Consequentemente, muito provavelmente será necessário introduzir simplificações e hipóteses subjacentes para a escolha de representação deste modelo. Tais decisões serão tomadas ao longo do projeto, mediante avaliação dos resultados preliminares e *benchmarks* obtidos com as primeiras rodadas do modelo.

4.3.4.2. EMULANDO UMA REPRESENTAÇÃO DO SISTEMA BASEADA EM CUSTOS

Como discutido no âmbito do entregável e.4.r, sob algumas hipóteses (entre elas a premissa de ausência de poder de mercado), os resultados de uma operação de mercado baseada em custos e os resultados de uma operação de mercado baseada em ofertas são equivalentes, visto que os agentes têm incentivo a submeter ofertas correspondentes exatamente às suas curvas de custo real. Levando esta propriedade em consideração, um ponto de partida bastante simples e natural para a representação dos resultados de uma liquidação do sistema baseada em custos seria utilizar simplesmente as “ofertas recomendadas iniciais” (introduzidas do âmbito do entregável e.7.s) calculadas pelo *software*. Visto que estas ofertas recomendadas iniciais são calculadas com base nos parâmetros do sistema físico, elas representam exatamente o que seria representado pelo operador em uma eventual representação do sistema baseada em custos.

Entretanto, esta representação não corresponde a uma descrição realista de como seria a operação do mercado elétrico brasileiro, devido à incorporação dos critérios de aversão ao risco que fazem parte intrinsecamente do paradigma atual de mercado (em particular, o CVaR na função objetivo). Visto que, de acordo com a recomendação desenvolvida ao longo deste projeto, o paradigma baseado em custos teria a sua própria representação de critérios de gerenciamento do risco sistêmico (como introduzido no contexto do entregável e.8.r), para fazer uma comparação válida seria necessário incorporar estes critérios na representação do sistema baseada em custos. Ao longo da elaboração do entregável e.9.r e do entregável e.9.s, os consultores propõem uma forma de representação deste critério de aversão ao risco.

Ainda uma outra consideração relevante, como apresentado no entregável e.9.r, é a possibilidade de ganhos informacionais com a implementação de um mecanismo baseado em ofertas – isto é, caso a informação utilizada pelos agentes privados para a construção das estratégias de oferta seja de melhor qualidade do que a informação utilizada pelo operador. Entretanto, embora esta seja uma componente importante de natureza qualitativa para as discussões dos estudos de caso, a proposta dos consultores é que o *software* não contemple adaptações adicionais para a representação de eventuais ganhos informacionais.

4.3.4.3. FUNÇÕES DE CUSTO FUTURO, LUCRO FUTURO, E EQUILÍBRIO DE NASH

Nota-se que, até o momento, o *software* descrito para a representação do mercado com paradigma baseado em ofertas idealizado ao longo deste projeto é de natureza exclusivamente *intratemporal* – isto é, só é necessário representar um único período de cada vez para fins de liquidação de mercado e conciliação. A hipótese subjacente implícita é que qualquer efeito *intertemporal* (tipicamente associado à operação de reservatórios hidrelétricos) será capturado automaticamente, no contexto do mercado baseado em ofertas, pela estratégia de oferta dos agentes. Isto implica que, entre os parâmetros de “caracterização dos agentes proprietários” descritos no contexto do entregável e.6.s, deve haver dados de entrada que permitam reconstruir uma curva de oferta para os agentes detentores de direitos de

propriedade de reservatório que represente a sua propensão a aumentar ou reduzir o volume armazenado em função dos preços.

No contexto dos estudos de caso que se deseja desenvolver para o entregável e.9.r, entretanto, não é possível admitir que a estratégia de oferta desses agentes seja dada – já que a estratégia para hidrelétricas com reservatório deve ser *endógena*, levando em conta as características físicas do sistema e os comportamentos dos outros agentes. O primeiro passo para a representação destas estratégias de equilíbrio, entretanto, é a representação da intertemporalidade nas decisões dos agentes – isto é, uma decisão de aumentar a decisão de turbinamento no presente aumenta o lucro imediato, mas também implica em uma redução no volume armazenado disponível para o período seguinte, reduzindo o lucro futuro. De um modo geral, quando o problema de otimização representado é a minimização de custos do operador central, fala-se em uma função de custo futuro, ao passo que quando o problema de otimização representado é a maximização de lucros de agentes de mercado, fala-se em uma função de lucro futuro. Os paradigmas centrais para a construção dessas funções, entretanto, são essencialmente os mesmos, e a mesma lógica de se representar a intertemporalidade e a endogeneidade das decisões dos agentes se aplica.

No âmbito do entregável e.9.s, o *software* será adaptado para incorporar estas representações intertemporais, utilizando o paradigma SDDP (*Stochastic Dual Dynamic Programming*) para a atualização iterativa do problema de otimização e segundo os paradigmas simplificados da representação do sistema elétrico brasileiro acordados anteriormente. Este mesmo paradigma seria utilizado para determinar o equilíbrio endógeno no caso do paradigma de mercado baseado em ofertas quanto no caso do paradigma de mercado baseado em custos.

Uma distinção crucial é que, enquanto o paradigma de mercado baseado em custos envolve a necessidade de convergir uma única função de custo futuro para permitir a extração de informações sobre as distribuições de probabilidades de longo prazo do sistema, no paradigma de mercado baseado em ofertas é necessário convergir N funções de lucro futuro (onde N é o número de agentes ofertantes), e essas funções são *interdependentes* entre si (já que as estratégias de oferta de um agente afetam, e são afetadas, pelas estratégias de todos os outros). Da mesma forma que pode ser necessária a adoção de hipóteses simplificadoras na representação do sistema elétrico brasileiro, os consultores se propõem a explorar alternativas para acelerar a convergência desta representação de Equilíbrio de Nash – sem, no entanto, qualquer prejuízo aos objetivos centrais das explorações quantitativas que se deseja fazer, contrastando os resultados dos dois paradigmas de mercado.

5. Conclusões e próximos passos

Este plano de trabalho apresentou uma visão abrangente e detalhada das atividades e metas propostas para o estudo sobre a formação de preço de energia elétrica de curto prazo no mercado brasileiro. Ao longo deste documento, foram delineadas as principais etapas, prazos, produtos e responsabilidades necessárias para alcançar os objetivos estabelecidos. Estas definições permitirão uma melhor coordenação das equipes envolvidas, maximizando a eficiência.

O plano de trabalho apresentado demonstra uma abordagem realista e viável para a execução do projeto. As atividades foram divididas em entregáveis bem definidos, permitindo um acompanhamento e avaliação contínuos do progresso. A definição de reuniões quinzenais e de apresentação de entregáveis, e de repositório compartilhado de documentos com a parte contratante também é crucial para monitorar o desempenho e identificar possíveis desvios em relação ao cronograma estabelecido.

É importante ressaltar que o sucesso deste projeto dependerá da comunicação clara e eficiente entre os membros da equipe, bem como o engajamento da sociedade, razão pela qual a frente de trabalho de comunicação foi posta na liderança do trabalho. A elaboração de um portal web público e de realização de workshops são outras iniciativas para permitir amplo contato com a sociedade.

Em resumo, o presente relatório oferece uma base sólida para a implementação do projeto, permitindo uma gestão adequada e o monitoramento constante do seu progresso.

6. Referências Bibliográficas

- Baldick, R., Grant, R., & Kahn, E. (2004). Theory and application of linear supply function equilibrium in electricity markets. *Journal of Regulatory Economics*, 25(2), 143–167. <https://doi.org/10.1023/B:REGE.0000012287.80449.97>
- Barroso, L. A., Granville, S., Pereira, M. V., Read, E. G., & Jackson, P. (2012). Overview of Virtual Models for Reservoir Management in Competitive Markets. *3rd Conference on Hydroscheduling in Competitive Markets*, 1–11.
- Barroso, Luiz Augusto N., Fampa, M. H. C., Kelman, R., Pereira, M. V. F., & Lino, P. (2002). Market Power Issues in Bid-Based Hydrothermal Dispatch. *Annals of Operations Research*, 117(1–4), 247–270. <https://doi.org/10.1023/A:1021537910823>
- Barroso, Luiz Augusto Nóbrega. (2006). *Estratégias de Ofertas Ótimas Sob Incerteza e Cálculos de Equilíbrios de Nash de Agentes Geradores em Mercados de Curto Prazo de Energia Elétrica: Uma Abordagem por Programação Linear Inteira*. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Boisseleau, F. (2004). The role of power exchanges for the creation of a single European electricity market. Market design and market regulation. *Univ Paris IX Dauphine*.
- Calabria, F. A., Saraiva, J. T., & Glachant, J.-M. (2014). Enhancing Flexibility and Ensuring Efficiency and Security: Improving the Electricity Market in Brazil via a Virtual Reservoir Model. In *EUI Working Papers*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2490377>
- California ISO. (2023). *Day-Ahead Market Enhancements: Final Proposal*.
- Caramanis, M. C., Bohn, R. E., & Schweppe, F. C. (1982). Optimal Spot Pricing: Practice and Theory. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, PAS-101*.
- CCEE. (2023a). *Conceitos de preço*. [https://www.ccee.org.br/precos/conceitos-precos#:~:text=O Preço de Liquidação das Diferenças \(PLD\) é o resultado,é gerada por usinas hidrelétricas.](https://www.ccee.org.br/precos/conceitos-precos#:~:text=O%20Pre%C3%A7o%20de%20Liquida%C3%A7%C3%A3o%20das%20Diferen%C3%A7as%20(PLD)%20%C3%A9%20o%20resultado,%C3%A9%20gerada%20por%20usinas%20hidrel%C3%A9tricas.)
- CCEE. (2023b). *Projeto META II: em cerimônia oficial, CCEE e PSR lançam estudo sobre formação de preços*. <https://www.ccee.org.br/pt/web/guest/-/projeto-meta-ii-em-cerimonia-oficial-ccee-e-psr-lancam-estudo-sobre-formacao-de-precos>
- Chao, H., & Wilson, R. (2001). Design of Wholesale Electricity Markets. In *Electric Power Research Institute*.
- Chen, Q., Fang, X., Guo, H., Zheng, K., Tang, Q., Lyu, R., Pan, K., Palensky, P., Kirschen, D. S., & Kang, C. (2022). The competition and equilibrium in power markets under decarbonization and decentralization. *IEnergy*, 1(2), 188–203. <https://doi.org/10.23919/ien.2022.0025>
- Coase, R. H. (1960). The Problem of Social Cost. *Journal of Law & Economics*, 3(1), 1–44. <https://doi.org/doi:10.1086/466560>
- Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). (2021). *Resolución CREG No. 143 de 2021* (pp. 1–9).
- Comitê de Revitalização. (2002). *Comitê de revitalização do modelo do setor elétrico: Relatórios de Progresso*.
- Corredor, P., Helman, U., Jara, D., & Wolak, F. A. (2020). *Misión de transformación energética y modernización de la industria eléctrica: hoja de ruta para la energía del futuro*.

<https://www.minenergia.gov.co/en/foros?idForo=24169153>

- Digital Roam. (2006). *Harvey balls? Harvey who?*
https://digitalroam.typepad.com/digital_roam/2006/03/harvey_balls_ha.html
- Ela, E., Milligan, M., Bloom, A., Botterud, A., Townsend, A., & Levin, T. (2014). *Evolution of Wholesale Electricity Market Design with Increasing Levels of Renewable Generation*. 1–139.
<https://doi.org/10.1007/978-0-387-78171-6>
- Flach, B. da C., Barroso, L. A., & Pereira, M. V. (2010). *Long Term Optimal Allocation of Hydro Generation for a Price-Maker Company in a Competitive Market: Latest Developments and a SDDP approach*.
<https://www.psr-inc.com/publications/scientific-production/papers/?current=t594>
- Garcia, J. D., & Chabar, R. (2016). *Modelling power markets with multi-stage stochastic Nash equilibria*.
<http://arxiv.org/abs/1903.12539>
- Green, R. (2000). Competition in generation: The economic foundations. *Proceedings of the IEEE*, 88(2), 128–139. <https://doi.org/10.1109/5.823994>
- Green, R. J., & Newbery, D. M. (1992). Competition in the British electricity spot market. *Journal of Political Economy*, 100(5), 929–953. <https://doi.org/10.1086/261846>
- Gross, G., & Finlay, D. (2000). Generation Supply Bidding in Perfectly Competitive Electricity Markets. *Computational & Mathematical Organization Theory*, 6(1), 83–98.
<https://doi.org/10.1023/A:1009677326718>
- GT Modernização do Setor Elétrico. (2019). *Relatório do Grupo Temático: Mecanismos de Formação de Preço*.
- Hammond, P. J. (1997). The Efficiency Theorems and Market Failure. *Department of Economics Stanford University, February*, 1–57.
- Hobbs, B. F., Metzler, C. B., & Pang, J.-S. (2000). Strategic Gaming Analysis for Electric Power Systems: An MPEC Approach. *IEEE Transactions on Power Systems*, 15(2), 638–645.
<https://doi.org/10.1109/TPWRS.2005.862005>
- Hogan, W. W. (2016). Virtual bidding and electricity market design. *Electricity Journal*, 29(5), 33–47.
<https://doi.org/10.1016/j.tej.2016.05.009>
- Hogan, W. W., & Pope, S. L. (2017). *Priorities for the Evolution of an Energy-Only Electricity Market Design in ERCOT*.
- Joskow, P. L., & Kahn, E. (2002). A Quantitative Analysis of Pricing Behavior in California's Wholesale Electricity Market During Summer 2000. *The Energy Journal*, 23(4), 1–35.
<http://www.jstor.org/stable/41323459>
- Ketchum, K. J., & Barroso, L. A. (2006). The Columbia River Treaty: An example of effective cross-border river regulation. *10th Symposium of Specialists in Electric Operational and Expansion Planning*.
http://www.psr-inc.com/psr/download/papers/2006_X_SEPOPE-CRTpaperfinal.pdf
- Metzler, C. B., Hobbs, B. F., & Pang, J.-S. (2003). Nash-Cournot equilibria in power markets on a linearized DC network with arbitrage: Formulations and properties. *Networks and Spatial Economics*, 3, 123–150.
- Minister of Industry and Trade. (2015). *Decision: Approval of the Detailed Design of the Wholesale Electricity Market of Vietnam (VWEM)*.

- Ministério de Minas e Energia. (2019a). *Portaria MME nº 301, de 31 de julho de 2019*.
- Ministério de Minas e Energia. (2019b). *Portaria MME nº403, de 29 de outubro de 2019*.
- Muñoz, F. D., Suazo-Martínez, C., Pereira, E., & Moreno, R. (2020). Electricity market design for low-carbon and flexible systems: Room for improvement in Chile. *Energy Policy*, 148(October 2020). <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111997>
- Nazaré, F., Cunha, G., & Bastos, J. P. (2019). Uma metodologia para ofertas de preços no Setor Elétrico Brasileiro: Avaliação e impactos. *XXV Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- ONS. (2023). *Sobre o SIN: O sistema em números*. <https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros>
- Pérez-Arriaga, I., Knittel, C., Miller, R., & Tabors, R. (2016). *Utility of the future: an MIT energy initiative response to an industry in transition*. <https://energy.mit.edu/wp-content/uploads/2016/12/Utility-of-the-Future-Full-Report.pdf>
- PSR. (2021). *Propostas de metodologias para a formação de preços por oferta no Brasil*. <https://www.engie.com.br/inovacao/inovacao-e-pd/projetos/formacao-de-preco-por-oferta/>
- Resende, M. M., & Cunha, G. (2022). ALTERNATIVAS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE MERCADOS BASEADOS EM OFERTAS E SUAS CONSEQUÊNCIAS PARA HIDRELÉTRICAS EM CASCATA. *XXVI Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica*.
- Schweppe, F. C., Caramanis, M. C., Tabors, R. D., & Bohn, R. E. (1988). *Spot Pricing of Electricity*. Springer, Boston, MA. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-1-4613-1683-1>
- Secretaría de Energía. (2014). Ley de la Industria Eléctrica. In *Diario Oficial*.
- Stoft, S. (2002). *Power System Economics: Designing Markets for Electricity*.
- Twomey, P., Green, R., Neuhoff, K., & Newbery, D. (2005). A Review of the Monitoring of Market Power: The Possible Roles of Transmission System Operators in Monitoring for Market Power Issues in Congested Transmission Systems. *The Journal of Energy Literature*, 11, 3–54.
- Vinken Dictuc. (2021). *Diseño para el perfeccionamiento del mercado eléctrico nacional en la transición hacia esquemas de ofertas incorporando señales de flexibilidad y nuevos agentes participantes: Informe final*. 1–322.
- Wilson, R. (1999). Market Architecture. *Power System Economics*, 1–22. <https://doi.org/10.1109/9780470545584.part3>
- Wolak, F. A. (2003a). *Designing Competitive Wholesale Electricity Markets for Latin American Countries*.
- Wolak, F. A. (2003b). Measuring unilateral market power in wholesale electricity markets: The California market, 1998-2000. *American Economic Review*, 93(2), 425–430. <https://doi.org/10.1257/000282803321947461>
- Wolak, F. A. (2009). An assessment of the performance of the New Zealand wholesale electricity market. In *Report for the New Zealand Commerce Commission* (Issue May).