



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
ESCOLA DE DIREITO, NEGÓCIOS E COMUNICAÇÃO
CURSO DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS

AMANDA DIVINA COSTA CARNEIRO

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA OPERACIONAL NO SETOR DE TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL NO PERÍODO DE 2018 A 2023.**

GOIÂNIA-GO
2024

AMANDA DIVINA COSTA CARNEIRO

Matrícula nº 2022.2.0021.0027-7

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA OPERACIONAL NO SETOR DE TRANSMISSÃO
DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL NO PERÍODO DE 2018 A 2023.**

Monografia apresentada ao Curso de Ciências Econômicas da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas.

Orientador: Prof. Me. Gesmar José Vieira

GOIÂNIA-GO
2024

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
ESCOLA DE DIREITO, NEGÓCIOS E COMUNICAÇÃO
CURSO DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS

AMANDA DIVINA COSTA CARNEIRO

Matrícula n° 2022.2.0021.0027-7

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA OPERACIONAL NO SETOR DE TRANSMISSÃO
DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL NO PERÍODO DE 2018 A 2023.**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás, avaliada pela seguinte banca examinadora:

Prof. Me. Gesmar José Vieira

Prof. Me. Mauro Cesar de Paula

Profa. Me. Neide Selma do Nascimento Oliveira Dias

GOIÂNIA-GO.

DATA DA APROVAÇÃO: 04/12/2024

Aos meus pais, seu Helio e dona Marisa, que é para mim o maior exemplo de amor. Os senhores me ensinaram o verdadeiro significado de dedicação, amor e constância. Este trabalho é fruto dos valores que os senhores semeiam em mim e do apoio incondicional que sempre me deram, mesmo nos momentos mais desafiadores.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente a Deus e, em segundo ao Mestre Salomão, por toda ciência e guarnição. É graças à luz que guia minha jornada que tenho conseguido me fortalecer, e, com fé e constância no cumprimento do dever, venho conquistando os meus objetivos.

Aos meus queridos pais, minha eterna gratidão por sempre se dedicarem a tornar minha jornada mais leve possível. Tudo o que fazem por mim é algo que somente Deus pode retribuir. Ser filha de vocês é uma bênção pela qual agradeço todos os dias.

Aos meus familiares e aos amigos da União, meu sincero agradecimento por cada palavra de incentivo e pelas orações que me fortaleceram em todos os momentos.

Aos colegas e amigos da EDP Transmissão, sou imensamente grata pela generosidade e disposição em me auxiliarem, seja esclarecendo dúvidas ou permitindo que eu tivesse o tempo necessário para desenvolver este trabalho.

Ao professor Gesmar, agradeço não apenas pela orientação técnica, mas também pelos conselhos e pela inspiração que me motivam a seguir com confiança no setor elétrico. Ao professor Ary, minha gratidão por ter acreditado neste projeto desde o início e por todo o apoio durante sua realização. Ao professor Mauro, meu sincero agradecimento por sua valiosa orientação na aplicação da metodologia no R.

A todos os senhores, meu mais profundo agradecimento. Este trabalho é também reflexo da colaboração, carinho e apoio que recebi ao longo desta caminhada. Peço a Deus que vos retribua com luz, paz e amor.

“[...] vem esblandescendo a ciência recebida de Salomão.”

M. Zé Luiz

RESUMO

O objetivo desse estudo é analisar a eficiência operacional das concessionárias de transmissão de energia elétrica no Brasil e identificar os fatores que influenciam as variações de produtividade no setor entre 2018 e 2023. O problema de pesquisa é entender como aconteceu a evolução da eficiência no período proposto e a hipótese é de que essa evolução ocorreu de forma positiva, ou seja, houve avanços e crescimentos no setor. Inserida na área da economia da regulação, o estudo apresenta como a intervenção regulatória busca corrigir falhas de mercado em monopólios naturais, onde a competição é inviável e os incentivos privados podem resultar em ineficiências ou custos elevados para os consumidores. Para atingir esse objetivo, o estudo utiliza a Análise Envoltória de Dados (DEA) e o Índice *Malmquist*, aplicados a nove contratos de concessão. A DEA, por meio dos modelos CCR e BCC, mede a eficiência técnica relativa das concessionárias, enquanto o Índice *Malmquist* decompõe as variações de produtividade em eficiência técnica, por meio do efeito de emparelhamento, e pelo efeito de deslocamento da fronteira. A metodologia permite identificar tanto o desempenho operacional das empresas quanto os fatores regulatórios e tecnológicos que influenciam suas operações. Os resultados revelam disparidades significativas entre as concessionárias. Algumas demonstraram estabilidade na eficiência operacional e capacidade de adaptação às exigências regulatórias e tecnológicas, enquanto outras enfrentaram dificuldades relacionadas à gestão interna e à modernização de infraestrutura. Os resultados evidenciam também, os impactos das privatizações e mudanças regulatórias sobre a capacidade das empresas de alcançar melhores resultados, destacando como as transformações no ambiente setorial influenciaram sua produtividade. A conclusão do estudo reforça que, apesar das disparidades, o setor de transmissão de energia elétrica demonstrou avanços no período analisado. Esses avanços foram impulsionados por políticas públicas consistentes e investimentos em inovação tecnológica, fundamentais para promover maior eficiência, sustentabilidade e competitividade no setor.

Palavras-chave: Regulação; Energia Elétrica; Análise Envoltória de Dados; Índice *Malmquist*; Brasil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de Linhas de Transmissão no Brasil em 2024.	19
Figura 2 – Atual Cadeia Produtiva do Setor de Energia Elétrica Brasileiro.	21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Índice <i>Malmquist</i> no Período de 2018 a 2023.....	46
Tabela 2 - Efeito Deslocamento no Período de 2018 a 2023.	47
Tabela 3 - Efeito Emparelhamento no Período de 2018 a 2023.....	48

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Matriz De Energia Elétrica Brasileira em 2023.....	18
Gráfico 2 - Índice Médio de Eficiência no Período de 2018 a 2023.	43

LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

BCC - *Variable Returns to Scale* (Retornos Variáveis de Escala)

CA - Corrente Alternada

CC - Corrente Contínua

CCR - *Constant Returns to Scale* (Retornos Constantes de Escala)

CELG-GT - Companhia de Geração e Transmissão de Goiás

CEMIG-GT - Companhia Energética de Minas Gerais - Geração e Transmissão

CEEE-T - Companhia Estadual de Energia Elétrica - Transmissão

CHESF - Companhia Hidroelétrica do São Francisco

CGT ELETROSUL - Companhia de Geração e Transmissão Eletrosul

COPEL-GT - Companhia Paranaense de Energia - Geração e Transmissão

CTEEP - Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista

DEA - *Data Envelopment Analysis* (Análise Envoltória de Dados)

DMU - *Decision Making Units* (Unidade Tomadora de Decisão)

ELETRONORTE - Centrais Elétricas do Norte do Brasil

FURNAS - Furnas Centrais Elétricas

GTD - Geração, Transmissão e Distribuição

HVDC - *High Voltage Direct Current*

KV - Kilo Volts

MME – Ministério de Minas e Energia

MMDG - Micro e Minigeração Distribuída

MW - Megawatt

MWh - Megawatt-hora

RAP - Receita Anual Permitida

SE – Subestação

SIN – Sistema Integrado Nacional

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	13
1 ASPECTOS CONCEITUAIS E CARACTERÍSTICAS DO SETOR DE ENERGIA ELÉTRICA	15
1.1 ESTRUTURA E PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO SETOR ELÉTRICO	15
1.1.1 GERAÇÃO	16
1.1.2 TRANSMISSÃO.....	18
1.1.3 DISTRIBUIÇÃO.....	20
1.2 EFICIÊNCIA E APLICAÇÕES.....	21
1.3 REGULAÇÃO NO SETOR DE ENERGIA ELÉTRICA.....	25
1.4 MECANISMOS DE REGULAÇÃO ECONÔMICA	28
2 ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS E ÍNDICE <i>MALMQUIST</i>.....	32
2.1 FUNDAMENTOS E APLICAÇÃO DO MÉTODO DEA	32
2.2 ÍNDICE <i>MALMQUIST</i>	35
2.3 NATUREZA DOS DADOS.....	37
3 EFICIÊNCIA DAS CONCESSIONARIAS DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	41
3.1 EFICIÊNCIA OPERACIONAL NOS MODELOS CCR E BCC.....	41
3.2 AVALIAÇÃO DO ÍNDICE <i>MALMQUIST</i>	45
3.3 IMPLICAÇÕES E CONSIDERAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS	48
CONCLUSÃO.....	51
REFERÊNCIAS.....	53
APÊNDICES	59

INTRODUÇÃO

O setor de energia elétrica é essencial para o desenvolvimento econômico e social, sustentando a indústria, os serviços e o bem-estar da população. No Brasil, sua relevância é ampliada pela dimensão territorial e pela matriz energética predominantemente renovável.

O segmento de transmissão desempenha um papel estratégico ao conectar centros de geração aos mercados consumidores, garantindo estabilidade e confiabilidade no fornecimento. Apesar de sua importância, o setor enfrenta desafios típicos de monopólios naturais, como altos custos de infraestrutura e a necessidade de regulação intensa para assegurar eficiência e modicidade tarifária.

O principal objetivo do trabalho é avaliar a eficiência operacional das concessionárias de transmissão de energia elétrica no Brasil durante o período de 2018 a 2023, buscando identificar os fatores que influenciam a produtividade das empresas analisadas, considerando suas características históricas e regulatórias.

As concessionárias selecionadas — CEMIG-GT, FURNAS, CTEEP, CEEE-T, COPEL-GT, CELG G&T, ELETRONORTE, CGT ELETROSUL e CHESF — diferenciam-se de empresas mais recentes do setor devido ao contexto em que foram estabelecidas, sob marcos regulatórios mais antigos e desafiadores.

O problema central deste estudo é compreender se, durante o período de 2018 a 2023, correspondente ao ciclo mais recente de revisão tarifária, houve avanços na eficiência operacional das concessionárias de transmissão de energia elétrica no Brasil. Esse problema ganha relevância em um cenário marcado por mudanças regulatórias significativas, como as impostas pela Lei nº 12.783/2013, e pela necessidade de modernização tecnológica em meio a crises econômicas e sociais, como a pandemia de Covid-19.

A hipótese levantada é que, apesar das oscilações econômicas e das exigências regulatórias, as concessionárias analisadas apresentaram evolução positiva em sua eficiência operacional. Essa evolução teria sido impulsionada por avanços tecnológicos, ajustes internos e adaptação às novas condições impostas pelo ambiente regulatório. Admite-se que essa evolução pode ter ocorrido de forma heterogênea, dada a diversidade de contextos históricos e estruturais das concessionárias selecionadas.

A metodologia utilizada combina a Análise Envoltória de Dados (DEA - *Data Envelopment Analysis*) e o Índice *Malmquist*, que permitem avaliar a eficiência técnica das concessionárias e decompor as variações de produtividade em eficiência técnica (efeito de emparelhamento) e progresso tecnológico (efeito de deslocamento). A amostra analisada

abrange os nove contratos de concessão, avaliados com base em variáveis como receitas anuais permitidas (RAP), extensão de linhas, número de subestações e capacidade de transformação.

O trabalho está estruturado em três capítulos. O primeiro capítulo apresenta o contexto atual do setor de transmissão de energia elétrica no Brasil, destacando sua relevância estratégica e os fundamentos teóricos que embasam a análise. O segundo capítulo detalha a metodologia aplicada e as variáveis utilizadas, explicando os fundamentos da DEA e do Índice *Malmquist*.

O terceiro capítulo é dedicado à apresentação e discussão dos resultados obtidos, com foco nas diferenças de desempenho entre as concessionárias e na evolução da eficiência ao longo do período analisado. As considerações finais avaliam os resultados em relação aos objetivos propostos e discutem as implicações para o setor.

1 ASPECTOS CONCEITUAIS E CARACTERÍSTICAS DO SETOR DE ENERGIA ELÉTRICA

Este capítulo aborda a organização do setor elétrico brasileiro em geração, transmissão e distribuição, destacando-se por sua matriz energética predominantemente renovável. A geração hidrelétrica lidera, sendo complementada pelo crescimento significativo das fontes eólica e solar, as quais, por sua vez, diversificam a matriz e reforçam sua sustentabilidade.

São apresentados os conceitos de eficiência, que se configuram como pilares fundamentais para a competitividade e sustentabilidade do setor elétrico. As ferramentas analíticas como a Análise Envoltória de Dados (DEA) e o Índice de *Malmquist* desempenham um papel crucial na avaliação do desempenho das empresas, permitindo identificar áreas de melhoria. Dessa forma, promovem o uso otimizado dos recursos, a redução de custos operacionais e o aumento da produtividade, contribuindo para a redução de desperdícios e assegurando maior eficiência técnica e econômica.

No que tange à regulação, o capítulo destaca como a regulação econômica no setor de energia elétrica garante estabilidade e segurança jurídica tanto para investidores quanto para consumidores. A criação de um arcabouço legal robusto, supervisionado pela ANEEL, é fundamental para promover um ambiente competitivo e transparente, o que se mostra essencial para atrair investimentos e viabilizar a modernização da infraestrutura.

São analisados instrumentos como leilões de concessão e revisões tarifárias periódicas, que asseguram a expansão da rede elétrica, a modicidade tarifária e a qualidade do serviço prestado. Ademais, a fiscalização contínua incentiva o cumprimento de padrões técnicos e econômicos, garantindo, um sistema sustentável, confiável e acessível para a população.

1.1 ESTRUTURA E PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO SETOR ELÉTRICO

A descoberta e o desenvolvimento da energia elétrica são resultados de séculos de observação e experimentação, com início nas primeiras observações de fenômenos elétricos na Grécia Antiga. No século XVIII, Benjamin Franklin demonstrou a natureza elétrica dos raios, e no século XIX, Michael Faraday descobriu a indução eletromagnética, base dos geradores elétricos. Segundo Garbi (2010), Thomas Edison e Nikola Tesla, por sua vez,

desenvolveram sistemas práticos de geração e distribuição de energia, estabelecendo as bases para a eletrificação global e impulsionando o progresso industrial e tecnológico.

Com o domínio da eletricidade, Garbi (2010) diz que, a humanidade alcançou um novo patamar de eficiência e capacidade, possibilitando o transporte de matéria, a transmissão de informações, a regulação de temperaturas, a transformação de formas e a comunicação a longas distâncias. Essas atividades, intrinsecamente ligadas ao progresso humano, foram viabilizadas pelo advento da eletricidade.

A energia elétrica é um elemento fundamental para a manutenção da vida nas sociedades contemporâneas. Isso se torna ainda mais evidente quando se observa o quanto a sociedade depende desse recurso para a realização desde as tarefas mais simples até as mais complexas do cotidiano. Desde o consumo de água, que requer tratamento e transporte até os pontos de distribuição, até o funcionamento de aparelhos eletroeletrônicos como celulares, computadores, geladeiras, todos dependem de energia elétrica para operar.

O crescimento e o desenvolvimento econômico dependem da disponibilidade de energia elétrica em quantidade e qualidade suficientes para sustentar a produção de bens e serviços. A energia elétrica é essencial para garantir o funcionamento de indústrias, a prestação de serviços e o atendimento das necessidades cotidianas da população.

O crescimento econômico é o aumento da quantidade de bens e serviços que uma economia pode produzir. Ele é geralmente medido pela taxa de crescimento do PIB real, que corrige o PIB nominal para os efeitos da inflação [...]. Desenvolvimento econômico envolve não apenas o crescimento da produção, mas também a melhora das condições de vida da população, como maior expectativa de vida, maior taxa de alfabetização e uma redução na pobreza. (MANKIW, 2019, p. 342).

Torna-se então, relevante compreender como esse recurso chega até nós, ou seja, entender a estrutura e a complexidade das diversas etapas que compõem o processo produtivo da eletricidade.

O setor elétrico brasileiro destaca-se por sua complexidade e vastidão, características que refletem as dimensões continentais do país e a rica diversidade de seus recursos energéticos. Conforme dados da ANEEL (2022), a produção de energia elétrica no Brasil é estruturada em uma cadeia de suprimentos que se divide em três segmentos principais:

1.1.1 GERAÇÃO

A geração de energia elétrica é o primeiro elo da cadeia produtiva, sendo responsável pela conversão de diferentes formas de energia primária em eletricidade. No Brasil, a matriz

energética distingue-se pela sua natureza predominantemente renovável. As usinas hidrelétricas representam cerca de 50,16% da capacidade instalada do país, uma posição de destaque mundial em termos de energia renovável.

Além da hidroeletricidade, o Brasil faz uso de outras fontes, como as usinas termelétricas, que utilizam combustíveis fósseis e são essenciais em períodos de seca, embora apresentem custos mais elevados e maior impacto ambiental. Nos últimos anos, as fontes de energia eólica e solar têm ganhado relevância.

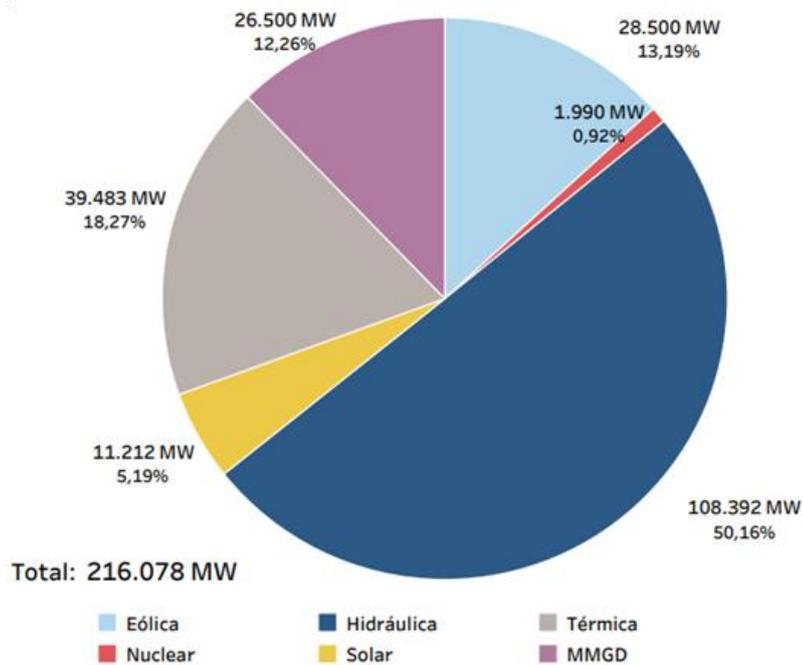
A energia eólica, especialmente, tem se expandido de forma expressiva nas regiões Nordeste e Sul, beneficiando-se das condições climáticas favoráveis, enquanto a energia solar vem sendo impulsionada por incentivos governamentais e pela contínua redução dos custos de implementação tecnológica.

Segundo o MME (Ministério de Minas e Energia) (2022), as fontes eólica e solar juntas já representam mais de 18% da capacidade instalada do país, refletindo uma tendência de diversificação e sustentabilidade na matriz energética brasileira.

O Gráfico 1 apresenta a distribuição das fontes de geração de energia elétrica no Brasil, totalizando 216.078 MW de capacidade instalada. A predominância da geração hidráulica é evidente, representando 50,16% do total 108.392 MW, o que reflete a forte dependência do país em sua matriz energética renovável, impulsionada pela abundância de recursos hídricos.

A segunda maior participação é da fonte térmica com 18,27%, ou 39.483 MW, que complementa o fornecido principalmente em períodos de escassez hídrica, mas desafios apresentam relacionados às emissões de gases de efeito estufa. Em seguida, a energia eólica com 13,19%, ou 28.500 MW, destaca-se como uma das fontes renováveis em rápido crescimento no Brasil, especialmente em regiões com condições climáticas específicas, como o Nordeste.

Gráfico 1 - Matriz de Energia Elétrica Brasileira em 2023.



Fonte: ONS, 2023.

Outras fontes, no Gráfico 1 incluem a energia solar com 5,19%, ou 11.212 MW, que também apresenta crescimento expressivo devido à redução de custos e incentivos governamentais, e a nuclear representa 0,92%, ou 1.990 MW, que mantém uma participação modesta, mas estratégico, na matriz. A categoria de Micro e Minigeração Distribuída (MMGD) representa 12,26% ou 26.500 MW, diminuindo a crescente descentralização da geração de energia e a adesão de consumidores ao modelo de geração distribuída.

1.1.2 TRANSMISSÃO

No estágio de transmissão, a eletricidade gerada é submetida a um processo de elevação de tensão para permitir seu transporte eficiente por longas distâncias. Esse aumento de tensão é essencial para minimizar as perdas de energia ao longo do trajeto.

A eletricidade percorre vastas redes de linhas de transmissão até chegar às subestações, onde a tensão é reduzida para níveis adequados à distribuição. As subestações desempenham um papel crítico não apenas na regulação da tensão, mas também na proteção e controle do fluxo de energia, garantindo a estabilidade do sistema.

O SIN (Sistema Interligado Nacional), segundo o ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico), é a espinha dorsal do setor de transmissão no Brasil, conectando as cinco

regiões do país e assegurando a segurança energética nacional. Essa integração permite que diferentes regiões troquem energia conforme suas necessidades, equilibrando a oferta e a demanda de forma eficiente. No entanto, o país ainda enfrenta desafios como a expansão da rede em áreas remotas, especialmente na Amazônia, o que demanda investimentos contínuos em infraestrutura.

A Figura 1 representa o SIN no Brasil, destacando a rede de transmissão de energia elétrica que cobre quase todo o território nacional. A legenda ao lado indica diferentes tipos de linhas de transmissão e suas respectivas tensões em quilovolts (kV). Há dois tipos principais:

- Linhas de Corrente Contínua, representadas por cores como azul e amarelo, que operam com tensões de 800 kV e 600 kV, além de linhas planejadas (tracejadas).
- Linhas de Transmissão de corrente alternada, que operam em diversas tensões, como 750 kV (em preto), 500 kV (em vermelho), 440 kV (em azul), entre outras.

Figura 1 - Mapa De Linhas De Transmissão no Brasil em 2024.



Fonte: ONS, 2024.

A legenda da Figura 1, apresenta uma visão clara e detalhada das linhas que compõem o sistema de transmissão no Brasil. Essas linhas organizadas por níveis de tensão e definições de acordo com seu estado de operação, seja em funcionamento ou em fase de planejamento.

O mapa revela uma maior densidade de linhas de transmissão na região Sudeste, que concentra grande parte do consumo de energia do país, além de mostrar conexões cruciais entre outras regiões, como Norte e Centro-Oeste. Este tipo de visualização é fundamental para compreender a estrutura atual da rede elétrica brasileira e para o planejamento de futuras expansões ou melhorias.

1.1.3 DISTRIBUIÇÃO

O segmento de distribuição é responsável por entregar a energia elétrica aos consumidores finais, sejam eles residenciais, comerciais ou industriais. Ao chegar às subestações de distribuição, a eletricidade tem sua tensão reduzida para níveis adequados ao consumo.

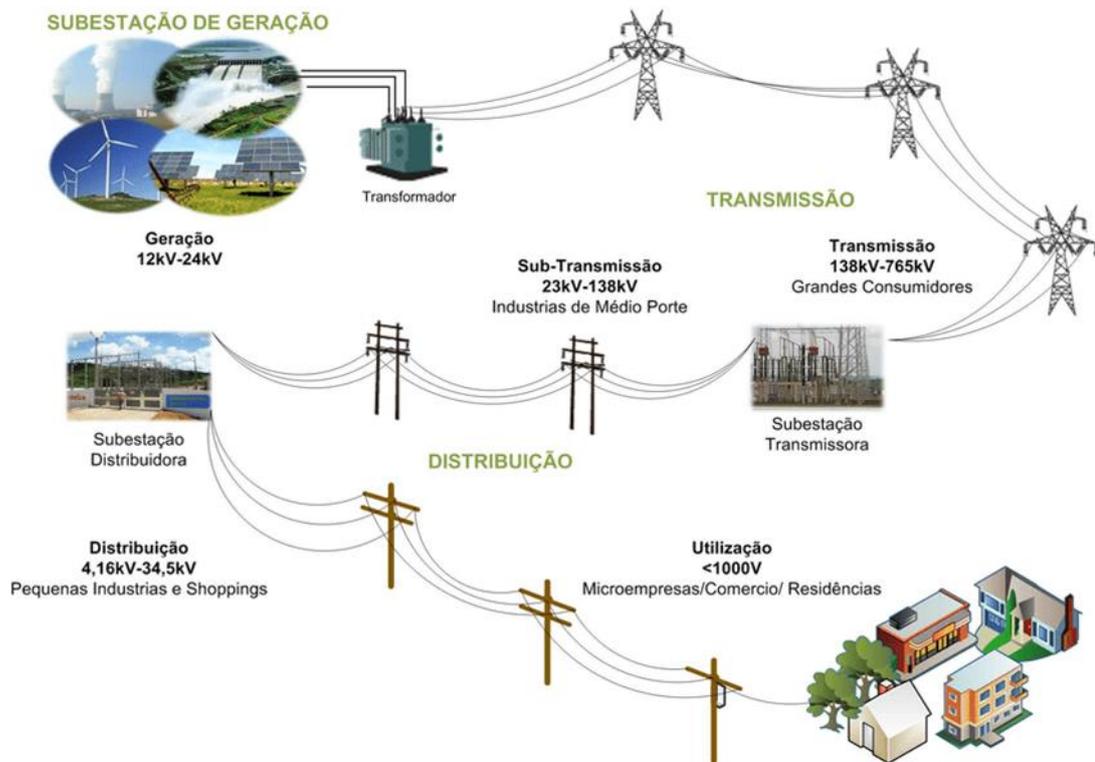
A rede de distribuição, composta por linhas e transformadores, enfrenta desafios consideráveis, como as perdas técnicas, que ocorrem devido à resistência elétrica nos condutores, e as perdas não técnicas, como o furto de energia. Essas perdas afetam diretamente a eficiência operacional e, em alguns casos, podem elevar os custos de fornecimento para os consumidores.

De acordo com a ANEEL (2022), as perdas não técnicas chegam a representar aproximadamente 15% da energia total distribuída em algumas regiões, sendo um problema sério para a sustentabilidade econômica das concessionárias de distribuição. Adicionalmente, o aumento da eletrificação rural e a modernização das redes, por meio de investimentos em *smart grids* (redes inteligentes), têm se mostrado soluções promissoras para melhorar a eficiência e reduzir as perdas no setor de distribuição.

A Figura 2 ilustra o fluxo completo do processo de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, destacando os diferentes níveis de tensão em cada etapa, desde a geração até o consumo final.

A energia é inicialmente gerada em usinas que podem ser hidrelétricas, termoelétricas, eólicas, solares ou nucleares, com tensões típicas variando entre 12 kV e 24 kV. Após a geração, essa energia é direcionada para transformadores, responsáveis por elevar a tensão para níveis mais altos, que variam de 138 kV até 765 kV, conforme necessário para o transporte eficiente da energia por longas distâncias. Este aumento de tensão é crucial, pois reduz as perdas de energia durante o processo de transmissão.

Figura 2 – Cadeia Produtiva do Setor de Energia Elétrica Brasileiro.



Fonte: Martins, J. *et al.*, 2013.

A energia é então transportada por linhas de alta tensão que conectam as usinas às subestações transmissoras. Nas subestações transmissoras, a tensão é novamente ajustada, sendo reduzida para níveis mais baixos, adequados para a distribuição, com variações de 23 kV a 138 kV em sistemas de subtransmissão, que atendem consumidores de médio porte, como indústrias.

Em seguida, a energia é distribuída através de redes de distribuição, que operam em níveis de tensão entre 4,16 kV e 34,5 kV, até chegar aos consumidores finais, como residências, pequenos comércios e indústrias de pequeno porte. Nessa última etapa, a energia é utilizada em tensões inferiores a 1.000 V, adequadas ao consumo cotidiano.

Este processo garante que a energia gerada nas usinas chegue aos consumidores de maneira eficiente, confiável e com modicidade, respeitando as características técnicas de cada fase do sistema elétrico.

1.2 EFICIÊNCIA E APLICAÇÕES

A eficiência é um conceito central na economia e na gestão de recursos, especialmente em áreas complexas como o setor de energia elétrica. A busca constante por

otimizar a utilização dos recursos disponíveis, minimizando desperdícios e maximizando resultados, é fundamental para a sustentabilidade e a competitividade de qualquer setor econômico.

No caso específico do setor elétrico, onde a infraestrutura exige grandes investimentos e os custos operacionais são elevados, a eficiência se torna ainda mais relevante. Afinal, ela é fundamental para assegurar a viabilidade econômica e promover uma distribuição justa dos benefícios gerados.

A eficiência técnica ou produtiva, segundo Varian (2006) é a capacidade de uma organização de maximizar a produção com os recursos disponíveis ou de manter a produção constante utilizando menos recursos. Essa eficiência é relevante em setores como o de geração de energia, onde, segundo Pinto *et al.*, (2013) "o uso ótimo de insumos como combustíveis e tecnologia pode reduzir significativamente os custos operacionais". Ferramentas como a *Data Envelopment Analysis* - Análise Envoltória de Dados (DEA) e o Índice de *Malmquist* são amplamente utilizadas para medir a eficiência técnica, permitindo que as empresas identifiquem áreas onde recursos estão sendo subutilizados ou onde há espaço para melhorias.

A DEA proporciona uma nova abordagem para estimar funções de produção empíricas — funções que podem envolver múltiplos insumos e múltiplos produtos — sem impor uma forma funcional específica. O modelo constrói uma fronteira de eficiência linear em torno das unidades de tomada de decisão (DMUs) mais eficientes, contra a qual outras unidades são comparadas. (CHARNES, *et al.*, 1978)

Os autores introduzem a DEA como uma ferramenta inovadora para lidar com situações em que a função de produção subjacente é desconhecida ou difícil de especificar, permitindo uma avaliação baseada puramente em dados observados.

O Índice de *Malmquist* de produtividade total dos fatores mede a mudança na produtividade de uma unidade produtiva entre dois períodos consecutivos. Ele pode ser decomposto em dois componentes: um que mede a mudança na eficiência técnica e outro que reflete o progresso ou retrocesso tecnológico. (ZHANG, *et al.*, 1994).

Essa definição reflete a adaptação do conceito original de *Malmquist* para o campo da eficiência e produtividade, permitindo a análise de como mudanças na eficiência e tecnologia contribuem para a variação na produtividade.

A eficiência econômica expande o conceito de eficiência técnica ao incorporar considerações monetárias, como custos e receitas. Trata-se, para Varian (2006) de produzir ao

menor custo possível, maximizando o lucro. De acordo com Vieira (2012), no setor de transmissão de energia elétrica, a eficiência econômica é vital, pois "não basta ser tecnicamente eficiente; é necessário também que os custos sejam minimizados para que as tarifas ao consumidor sejam justas". Modelos de Fronteira Estocástica e Funções de Custo *Translog* são ferramentas econométricas comuns para calcular a eficiência econômica, permitindo uma análise aprofundada dos custos de operação e manutenção das redes de transmissão.

O conceito de Modelos de Fronteira Estocástica foi introduzido de forma independente por Aigner, *et al.* (1977). Eles desenvolveram um modelo econométrico que mede a eficiência de produção incorporando tanto ruído estocástico quanto ineficiência na análise.

Uma função de produção estocástica pode ser interpretada como uma fronteira máxima de produção, condicionada ao nível de insumos, além do qual a produção não pode ocorrer. Qualquer desvio da produção real em relação a essa fronteira pode ser atribuído a ineficiências técnicas e erros aleatórios. (AIGNER, *et al.*, 1977).

E nas palavras de Meeusen e Van Den Broeck (1977),

A ideia central do modelo de fronteira estocástica é separar os efeitos de ruídos estocásticos devidos a fatores fora do controle do produtor (por exemplo, condições climáticas ou outros choques) da ineficiência técnica propriamente dita. (MEEUSEN & VAN DEN BROECK, 1977).

O conceito de Função de Custo *Translog* foi introduzido por Christensen, Jorgenson e Lau (1973), que propuseram uma forma flexível de função de produção ou de custo, conhecida como *Translog (Transcendental Logarithmic)*. Essa função permite uma aproximação de qualquer função de produção ou de custo sem a necessidade de impor a priori restrições de substitutibilidade constante entre insumos.

A função de custo *Translog* é uma função de custo flexível, que fornece uma aproximação de segunda ordem para qualquer função de custo desconhecida em um ponto de referência específico. Ela não impõe suposições rígidas de substitutibilidade constante ou retornos constantes de escala. (CHRISTENSEN, *et al.*, 1973).

Eles desenvolveram essa forma funcional para superar as limitações das formas tradicionais, como as funções de produção Cobb-Douglas, que pressupõem elasticidades de substituição constantes entre os fatores de produção.

A eficiência alocativa ou distributiva, de acordo com Possas *et al.*, (1997) refere-se à distribuição ideal dos recursos, de modo que eles sejam empregados onde geram maior valor ou satisfação. No setor de energia, esse conceito é fundamental para garantir que os investimentos em infraestrutura sejam direcionados para áreas que proporcionam o maior retorno econômico e social.

Para Pinto (2013, p. 28), "Uma alocação eficiente de recursos em projetos de transmissão pode reduzir os custos totais do sistema elétrico e beneficiar consumidores em áreas de maior demanda". Ferramentas como a Análise de Custos e Benefícios e Modelos de Equilíbrio Geral Computável ajudam a avaliar se os recursos estão sendo distribuídos de forma otimizada.

A eficiência distributiva está relacionada à distribuição equitativa dos benefícios econômicos e dos recursos. Ela busca assegurar que os ganhos gerados por um setor, como o de energia, sejam distribuídos de forma justa entre todos os segmentos da sociedade. "Políticas que garantem a eletrificação em áreas rurais remotas são um exemplo de como a eficiência distributiva pode ser aplicada no setor elétrico" (VIEIRA, 2012).

A eficiência técnica será utilizada como métrica para análise do setor de transmissão de energia elétrica. A escolha por este tipo de eficiência se justifica pela necessidade de garantir que os recursos sejam empregados, de forma a maximizar os benefícios, e tornar módicos os custos operacionais e de infraestrutura. A transmissão de energia elétrica é caracterizada por altos custos fixos e pela presença de monopólios naturais, o que torna fundamental a otimização dos recursos alocados para garantir que o serviço seja prestado de maneira eficiente e com tarifas justas aos consumidores.

Um monopólio natural surge quando uma única empresa pode fornecer um bem ou serviço para todo o mercado a um custo menor do que duas ou mais empresas poderiam. Um monopólio natural ocorre quando existem economias de escala no intervalo relevante de produção. (MANKIW, 2020).

Conforme destacado por Júnior (2013), a eficiência técnica está diretamente relacionada à capacidade das empresas em utilizar seus recursos de forma ótima para maximizar a produção, reduzindo desperdícios e custos operacionais.

Em um ambiente regulado como o setor elétrico, onde as empresas operam sob fortes pressões por redução de tarifas e aumento de qualidade, a análise de eficiência técnica é uma ferramenta essencial para identificar o potencial de melhoria operacional. Os resultados dessa análise podem fornecer subsídios valiosos para a formulação de políticas regulatórias e de

investimento, contribuindo para um sistema de transmissão mais competitivo, confiável e financeiramente sustentável.

1.3 REGULAÇÃO NO SETOR DE ENERGIA ELÉTRICA

Segundo Boyer (1990), regulação é definido como um conjunto de procedimentos e comportamentos, sejam eles individuais ou coletivos, voltados para a reprodução das relações sociais fundamentais e a manutenção do regime de acumulação. Além disso, ele assegura que as decisões descentralizadas sejam ajustadas de forma coerente, ao mesmo tempo que os agentes econômicos internalizem os princípios necessários para o equilíbrio do sistema.

O setor elétrico brasileiro se destaca como um dos mais regulados da economia devido à sua importância estratégica e à sua característica de monopólio natural, especialmente nas áreas de transmissão e distribuição. Para assegurar que o fornecimento de energia seja eficiente, acessível e de qualidade, foi criado um conjunto abrangente de legislações ao longo das décadas. Essas leis visam atrair investimentos, proteger os consumidores e garantir a sustentabilidade do setor.

Na década de 1990, o setor elétrico no Brasil passou por profundas transformações, impulsionadas pela necessidade de modernização e pela crise fiscal do Estado, que limitava sua capacidade de realizar investimentos necessários para a expansão da infraestrutura energética.

Com a criação da Lei n.º 8.987/1995, conhecida como Lei das Concessões, foi regulamentado o regime de concessões e permissões dos serviços públicos, incluindo o setor elétrico. Essa legislação, para Medeiros *et al.*, (2017) estabeleceu um marco regulatório que definiu regras claras para a concessão dos serviços de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, abrindo caminho para a entrada de empresas privadas no setor.

Para Jannuzzi *et al.*, (2001), a falta de transparência nos processos de concessão, antes da implementação dessa legislação, também representava um obstáculo significativo para o desenvolvimento e a modernização do setor elétrico brasileiro. Antes da criação desta lei, a ausência de um arcabouço jurídico consistente gerava um ambiente de incerteza para os investidores, o que limitava significativamente a competitividade e a entrada de novos participantes no mercado. Essa insegurança jurídica restringia os investimentos essenciais para a expansão da capacidade do setor e dificultava a melhoria da eficiência operacional das empresas existentes.

As mudanças ocorridas no setor de energia desde meados da década de 90, em países como o Brasil, incluíram privatizações, a criação de agência regulatória e a introdução de maior competição entre os atores dessa indústria. Houve também a preocupação em manter, e até aumentar o apoio a algumas atividades de interesse público, como é o caso de eficiência energética. (JANNUZZI *et al*, 2001).

A Lei das Concessões, que ainda permanece vigente, continua a ser um pilar fundamental para o funcionamento do mercado elétrico no Brasil. Ao estabelecer condições contratuais claras e supervisionadas pelo Estado, essa legislação garante não apenas a entrada de novos agentes no mercado, mas também a transparência e a segurança jurídica necessárias para atrair investimentos de longo prazo. Além disso, segundo Medeiros *et al.*, (2017), a clareza nas regras contratuais permite que as concessionárias operem com maior previsibilidade, criando um ambiente mais estável e favorável à modernização contínua do setor e à expansão da infraestrutura de energia no país.

Complementando essa legislação, a Lei n.º 9.074/1995 introduziu critérios adicionais para concessões, permissões e autorizações dos serviços públicos de energia elétrica. Para Jannuzzi, *et al.*, (2001) essa lei foi fundamental para facilitar a renovação das concessões e assegurar que esses processos fossem conduzidos por meio de leilões competitivos, aumentando a transparência e a eficiência no setor. Antes de sua implementação, as concessões eram marcadas por baixa competitividade e, frequentemente, renovadas de maneira pouco transparente, o que perpetuava uma estrutura monopolista, dominada por empresas estatais. A introdução dos leilões competitivos trouxe uma mudança significativa ao cenário, promovendo a concorrência, incentivando a melhoria dos serviços e contribuindo para a modicidade tarifária.

Dados da ONS (2023), mostra que a baixa competitividade dificultava a entrada de novos agentes, especialmente privados, impedindo que a concorrência estimulasse melhorias na qualidade do serviço e maior eficiência econômica. A Lei n.º 9.074/1995, portanto, trouxe mecanismos que asseguram a continuidade dos serviços, evitam a concentração de poder e promovem a modicidade tarifária, fatores cruciais para o desenvolvimento sustentável do setor elétrico.

Por meio da Lei n.º 9.427/1996, um marco regulatório decisivo, ANEEL foi criada e instituída para regular e fiscalizar o mercado de energia elétrica, assegurando que as concessionárias cumprissem suas obrigações contratuais e fornecessem serviços de qualidade a preços justos. Antes da criação da agência, de acordo com a ONS (2024), o setor carecia de uma entidade reguladora dedicada exclusivamente à supervisão das operações de geração,

transmissão e distribuição de energia. Isso gerava uma supervisão insuficiente sobre as concessionárias, além de falhas no acompanhamento da qualidade dos serviços e na definição de preços adequados para os consumidores. A partir de sua criação a ANEEL tem desempenhado um papel essencial na fiscalização e regulação do setor, garantindo sua estabilidade e promovendo a segurança jurídica.

A Lei n.º 10.848/2004, que instituiu o Novo Modelo do Setor Elétrico, introduziu uma divisão clara entre o Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL). No ACR, a compra de energia pelas distribuidoras é regulada e realizada por meio de leilões organizados pela ANEEL, enquanto o ACL permite que grandes consumidores, como indústrias, negociem diretamente com os geradores. Antes de 2004, não havia uma distinção clara entre os ambientes regulado e livre, o que resultava em um mercado de energia pouco competitivo, com baixa flexibilidade nas negociações e uma dependência excessiva das distribuidoras.

A falta dessa distinção prejudicava a diversificação das fontes de contratação e aumentava a vulnerabilidade do sistema a desequilíbrios entre oferta e demanda, comprometendo a modicidade tarifária e a segurança energética. Com a entrada em vigor da Lei n.º 10.848/2004, o setor elétrico ganhou maior competitividade e flexibilidade, promovendo maior eficiência econômica e segurança no fornecimento de energia (ONS, 2023).

A Lei n.º 12.783/2013, que regulamenta a Renovação das Concessões de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, estabeleceu condições para a continuidade operacional das concessionárias por até 30 anos. Essa lei também promoveu a redução das tarifas de energia para os consumidores e exigiu maior eficiência das concessionárias. Anterior à sua promulgação, os processos de renovação não exigiam uma avaliação rigorosa da capacidade das concessionárias em oferecer serviços de qualidade a preços competitivos. As tarifas eram altas e os consumidores não recebiam os benefícios decorrentes de uma maior eficiência no setor.

A ausência de mecanismos claros para garantir a redução tarifária dificultava o alívio financeiro dos consumidores. Com a Lei n.º 12.783/2013, as regras para renovação tornaram-se mais transparentes, permitindo que o setor avançasse em termos de competitividade e eficiência, beneficiando diretamente os consumidores (ANEEL, 2022).

Essas legislações são fundamentais para a estruturação do mercado elétrico brasileiro, fornecendo bases legais para a entrada de agentes privados, fomentando a competitividade e garantindo a estabilidade e continuidade do fornecimento de energia.

A Lei das Concessões, por exemplo, foi crucial para atrair investimentos privados ao setor, enquanto a Lei de 2004 reorganizou o modelo de contratação, permitindo que grandes consumidores negociassem diretamente com os geradores, promovendo maior eficiência econômica.

As normas não só impactam a geração de energia, como também influenciam sua transmissão e distribuição, ao estabelecer regras claras para a expansão da infraestrutura e a modicidade tarifária aplicada ao consumidor final (ONS, 2023; ANEEL, 2022).

A regulação econômica do setor de energia elétrica no Brasil, especialmente no segmento de transmissão, é de extrema importância, uma vez que este opera como um monopólio natural. A transmissão envolve altos investimentos em infraestrutura, o que torna a duplicação de redes ineficiente.

Para garantir que as tarifas sejam justas e que as empresas tenham um retorno financeiro adequado, a ANEEL regula o segmento, estabelecendo normas e fiscalizando o cumprimento de padrões técnicos e econômicos. Para Vieira (2012), "a transmissão de energia elétrica exige a presença de um modelo de regulação econômica que evite abusos tarifários e promova a expansão eficiente da infraestrutura".

1.4 MECANISMOS DE REGULAÇÃO ECONÔMICA

Um dos mecanismos essenciais de regulação econômica no segmento de transmissão são os leilões de concessão. A estrutura atual dos leilões de transmissão de energia elétrica no Brasil segue o modelo de concessões públicas organizadas pela ANEEL. Esses leilões visam garantir a expansão da infraestrutura de transmissão, necessária para acompanhar o crescimento da demanda por energia elétrica e a integração de novas fontes de geração, como as energias renováveis.

O leilão ocorre em lotes, que para a ANEEL (2024), consistem em projetos de construção, operação e manutenção de novas linhas de transmissão e subestações. A empresa vencedora é aquela que oferece a menor RAP (Receita Anual Permitida), que é o valor que ela irá receber anualmente pela prestação do serviço de transmissão. Esse modelo competitivo

visa reduzir os custos de operação e promover a eficiência no setor, estimulando as empresas a serem mais inovadoras e a buscarem soluções que otimizem a infraestrutura.

A RAP é o montante pago à concessionária pelo uso de sua infraestrutura de transmissão e é calculada para cobrir os custos de operação, manutenção, e uma remuneração adequada ao capital investido. A composição da RAP leva em consideração fatores como o custo de construção das linhas, a extensão das redes, os riscos associados ao projeto, e a taxa de retorno sobre o investimento. Além disso, essa receita é ajustada anualmente para compensar a inflação e pode ser revisada a cada ciclo regulatório, levando em conta o desempenho da concessionária e os parâmetros de eficiência operacional definidos pela ANEEL.

Segundo Vieira (2012), "o mecanismo de leilões tem sido eficaz em promover a concorrência entre os operadores, resultando em menores tarifas para os consumidores finais". A realização dos leilões, além de promover a competitividade, garante que o crescimento da rede de transmissão acompanhe a demanda energética do país, especialmente com a integração de novas fontes renováveis à matriz. Esses leilões são essenciais para garantir que a expansão da infraestrutura de transmissão ocorra de maneira eficiente e dentro de parâmetros econômicos viáveis para o sistema.

Um outro pilar da regulação econômica é a Revisão Tarifária Periódica, que ajusta a Receita Anual Permitida (RAP) das concessionárias de transmissão. Esse processo é realizado em intervalos regulares, com base no desempenho das concessionárias, nos custos operacionais incorridos e no nível de qualidade dos serviços prestados.

Pinto (2013) descreve que "as revisões tarifárias são fundamentais para equilibrar a eficiência das empresas com a modicidade tarifária, evitando que os custos sejam transferidos excessivamente aos consumidores". Essa abordagem permite uma correção de eventuais distorções nos preços praticados, evitando que as concessionárias acumulem lucros excessivos ou que enfrentem dificuldades financeiras, garantindo assim a continuidade do serviço.

Durante as revisões tarifárias, ANEEL avalia se os custos operacionais das concessionárias estão dentro de padrões de eficiência estabelecidos. A metodologia usada inclui a análise do desempenho técnico e a comparação entre empresas similares, utilizando benchmarks que incentivam a eficiência e o uso adequado dos recursos disponíveis. Se a concessionária não atinge os níveis esperados de eficiência, sua RAP pode ser ajustada para baixo, o que cria incentivos para a melhoria contínua da gestão e das operações.

A fiscalização contínua realizada pela ANEEL é outro aspecto central da regulação econômica no setor de transmissão. A agência monitora regularmente o desempenho das concessionárias em dois aspectos principais: técnico e financeiro. O objetivo é garantir que as empresas cumpram com os compromissos contratuais e mantenham a qualidade do serviço prestado.

Observado por Pinto (2013), "a qualidade do serviço de transmissão deve ser mantida e as concessionárias devem cumprir rigorosamente seus contratos". Essa supervisão assegura que as empresas de transmissão operem de acordo com os padrões de confiabilidade e segurança exigidos pela legislação, e que seus investimentos estejam alinhados com as necessidades da rede.

Tem-se que a ANEEL também monitora os indicadores de desempenho, como o tempo de interrupção do serviço, as perdas técnicas nas linhas de transmissão e a eficiência dos investimentos realizados. Esse processo é essencial para identificar potenciais problemas antes que afetem a continuidade do fornecimento de energia, garantindo que o sistema seja robusto o suficiente para atender à crescente demanda do país.

Por fim, o controle tarifário promovido pelas revisões periódicas é essencial para garantir que os preços praticados pelas concessionárias sejam justos para os consumidores. Vieira (2012) afirma que "o controle tarifário tem sido um fator importante para a estabilidade dos preços e para a acessibilidade do serviço de energia elétrica".

Esse controle assegura que as tarifas de transmissão reflitam de forma adequada os custos operacionais das empresas, sem que haja transferências indevidas de custos aos consumidores finais. A regulação econômica, portanto, não apenas promove a eficiência, mas também protege o consumidor, garantindo a acessibilidade e a modicidade tarifária.

O dinamismo da regulação econômica é fundamental para acompanhar as mudanças no mercado e incentivar a modernização do sistema de transmissão. A regulação incentiva as concessionárias a realizarem melhorias contínuas na infraestrutura, adotando novas tecnologias que aumentem a eficiência e a confiabilidade do sistema.

Segundo Pinto (2013), "a modernização do sistema de transmissão é vital para garantir a continuidade do serviço e promover o uso eficiente dos recursos disponíveis", uma vez possibilitarem investimentos em tecnologia que reduzam as perdas técnicas e melhorem a segurança operacional da rede.

Além disso, a regulação econômica no setor de transmissão desempenha um papel vital na segurança do fornecimento de energia. Ela assegura que a rede opere dentro de

parâmetros de qualidade adequados, reduzindo o risco de apagões ou interrupções prolongadas que possam comprometer o fornecimento de energia. Nesse sentido, a ANEEL exige que as concessionárias invistam continuamente na modernização da rede e na adoção de tecnologias que melhorem a eficiência do sistema.

2 ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS E ÍNDICE *MALMQUIST*

Este capítulo apresenta a aplicação da metodologia DEA e do Índice de *Malmquist* para analisar a eficiência técnica e operacional no setor elétrico brasileiro. Esses métodos são amplamente utilizados para avaliar unidades produtivas e identificar pontos que podem ser melhorados, especialmente em situações com múltiplos insumos e produtos. A DEA utiliza os modelos CCR e BCC para medir a eficiência, considerando retornos constantes e variáveis de escala, respectivamente. Essa abordagem ajuda a identificar problemas no uso dos recursos e sugerir melhorias para torná-los mais eficientes.

O Índice de *Malmquist*, por sua vez, analisa as mudanças na produtividade ao longo do tempo. Ele é dividido em dois componentes principais: eficiência técnica e progresso tecnológico, o que ajuda a entender os fatores que influenciam o desempenho das empresas.

Por fim, o capítulo aborda os dados utilizados no estudo, explicando quais insumos e produtos foram selecionados e de onde esses dados foram obtidos. A consistência e qualidade dos dados são essenciais para garantir resultados confiáveis. O software R será utilizado para processar e organizar as informações, assegurando uma análise precisa e eficiente, além de reforçar a confiabilidade dos resultados apresentados.

2.1 FUNDAMENTOS E APLICAÇÃO DO MÉTODO DEA

O método DEA surgiu em 1978, desenvolvido por Charnes, Cooper e Rhodes, como uma ferramenta matemática voltada para a análise de eficiência relativa de unidades produtivas. De acordo com Charnes *et al.* (1978) o principal objetivo do DEA é avaliar o desempenho de diferentes entidades, denominadas Unidades Tomadoras de Decisão (DMUs - *Decision Making Units*), que utilizam recursos (entradas) para gerar produtos ou serviços (saídas). Essa análise permite identificar quais DMUs estão operando de maneira eficiente e quais estão abaixo da fronteira eficiente

A DEA foi originalmente desenvolvida para resolver um problema comum nas análises de produtividade: como medir a eficiência de diferentes organizações que utilizam múltiplas entradas e produzem múltiplas saídas, sem precisar definir uma função de produção explícita, como é exigido em métodos paramétricos. Para Charnes *et al.* (1978) o modelo DEA utiliza a programação linear para comparar o desempenho de cada unidade com uma fronteira de eficiência, que é construída com base nas unidades que maximizam suas saídas

com o mínimo de entradas ou que minimizam suas entradas para uma dada quantidade de saídas.

Na DEA, segundo Gomes & Baptista (2004), a eficiência de uma DMU é definida pela comparação de múltiplas entradas e saídas de várias DMUs dentro de um conjunto de referência. As DMUs podem ser empresas, escolas, hospitais ou qualquer organização que utilize recursos para produzir bens ou serviços.

- DMUs: As Unidades Tomadoras de Decisão (DMUs) são as entidades comparadas pela DEA. Cada DMU usa um conjunto de entradas (comprimento de linha, número de subestações, número de empregado etc.) para gerar um conjunto de saídas (RAP, capacidade de transformação etc.).
- Fronteira Eficiente: A fronteira eficiente é construída a partir das DMUs que operam com a maior eficiência, isto é, aquelas que conseguem produzir o máximo de saídas com o menor uso possível de entradas. Essas DMUs servem de referência para as demais. Se uma DMU está abaixo da fronteira, significa que ela é ineficiente em comparação com as unidades de melhor desempenho.

No DEA, Charnes *et al.* (1978) diz que a eficiência pode ser medida de duas maneiras principais: com orientação a insumo ou orientação a produto. A medida com orientação a insumo foca em minimizar os recursos utilizados (entradas) para gerar um dado nível de produção (saídas). Em outras palavras, o objetivo é reduzir a quantidade de insumos (como capital, trabalho, custo operacional) sem reduzir a produção. Quando orientada a insumos, a análise busca minimizar as entradas necessárias para produzir um dado nível de saídas. O problema de otimização pode ser formulado como:

$$\min_{\theta, \lambda} \theta$$

Considerando que:

$$\begin{aligned} Y\lambda &\geq y_0 \\ \theta X\lambda &\leq x_0 \\ \lambda &\geq 0 \end{aligned}$$

Onde:

- θ é a variável de eficiência que se deseja minimizar;
- X é a matriz das entradas DMUs;
- Y é a matriz das saídas DMUs;

- λ é o vetor de peso das DMUs;
- x_0 e y_0 representam as entradas e saídas da DMU em análise.

Aqui, θ será o coeficiente de eficiência da DMU. Se $\theta=1$, a DMU está operando de maneira eficiente. Se $\theta < 1$, a DMU é ineficiente.

Essa abordagem é particularmente útil em setores onde os insumos são limitados ou muito caros, como o setor de transmissão de energia, onde os custos de infraestrutura são elevados. Por exemplo, uma concessionária de transmissão eficiente seria aquela que consegue transmitir mais energia usando menos recursos em comparação com suas concorrentes.

O Modelo CCR (Retornos Constantes à Escala), desenvolvido por Charnes *et al.* (1978), assume que as DMUs operam sob a hipótese de retornos constantes à escala (CRS - *Constant Returns to Scale*). Isso significa que, ao dobrar as entradas (insumos), as saídas (produtos) também dobrariam. Esse modelo é aplicável quando se supõe que todas as DMUs estão operando em uma escala ideal, ou seja, que uma expansão ou redução dos insumos resulta na mesma proporção de crescimento ou redução das saídas. A formulação matemática do DEA CCR orientado a insumos é:

$$\max_{\lambda} \frac{\sum_{i=1}^m u_i y_{i k}}{\sum_{j=1}^n v_j x_{j k}}$$

Considerando que:

$$\frac{\sum_{i=1}^m u_i y_{i j}}{\sum_{j=1}^n v_j x_{i j}} \leq 1 \quad \forall j$$

$$u_i, v_j \geq 0$$

Onde:

- u_i e v_j são os pesos atribuídos às saídas y_i e às entradas x_j , respectivamente;
- k refere-se à DMU em análise.

Neste modelo, o foco é em manter a proporcionalidade entre entradas e saídas, assumindo que a escala das operações não afeta a eficiência. No setor de transmissão de energia elétrica, o modelo CCR é usado quando se assume que todas as concessionárias têm condições de operar de maneira similar, independentemente de seu tamanho. Assim, o modelo CCR é adequado quando as unidades têm características bastante homogêneas e operam em condições ideais de mercado.

Por outro lado, o Modelo BCC, proposto por Banker, Charnes e Cooper em 1984, relaxa essa suposição e trabalha com retornos variáveis à escala (VRS - *Variable Returns to Scale*). Esse modelo reconhece que, em muitos casos, ao aumentar as entradas, as saídas podem aumentar em uma proporção diferente, seja maior ou menor. Isso significa que as DMUs podem operar em diferentes escalas, e a eficiência pode variar de acordo com a escala de operação. A formulação matemática do modelo BCC orientado a insumos é similar ao CCR, mas adiciona uma restrição de convexidade:

$$\sum \lambda_j = 1$$

Essa restrição força a combinação linear das DMUs a ser convexa, permitindo retornos variáveis à escala. Isso reflete que algumas unidades podem ter vantagens de escala, enquanto outras podem sofrer com ineficiências. O Modelo BCC, para Banker *et al.*, (1984), é mais flexível e se aplica a casos em que as empresas podem operar em diferentes tamanhos e enfrentar diferentes condições de mercado, o que é comum no setor de transmissão de energia, onde concessionárias de diferentes portes atuam em diferentes regiões geográficas, cada uma com desafios e oportunidades específicas.

2.2 ÍNDICE *MALMQUIST*

O Índice de *Malmquist*, segundo Fare *et al.* (1994) é uma extensão do DEA que permite medir mudanças de eficiência ao longo do tempo. Esse índice é útil quando se deseja avaliar não apenas a eficiência estática de uma DMU em um determinado momento, mas também como a sua eficiência evolui ao longo dos anos. O Índice de *Malmquist* mede a produtividade total dos fatores, decompondo essa mudança em dois componentes: a mudança técnica (inovações tecnológicas) e a mudança de eficiência (melhoria ou piora na gestão dos recursos). A fórmula do Índice de *Malmquist*, conforme Coelli *et al.* (2005) pode ser expressa como:

$$\mathcal{M}_0(y_t, x_t, y_{t+1}, x_{t+1}) = \left[\frac{\mathcal{D}_t^0(y_{t+1}, x_{t+1})}{\mathcal{D}_t^0(y_t, x_t)} \times \frac{\mathcal{D}_{t+1}^0(y_{t+1}, x_{t+1})}{\mathcal{D}_{t+1}^0(y_t, x_t)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Onde:

- $\mathcal{D}_t^0(y_t, x_t)$ é a distância de eficiência técnica no período t ;

- $\mathcal{D}_{t+1}^0(y_{t+1}, x_{t+1})$ é a distância de eficiência técnica no período $t + 1$;
- \mathcal{M}_0 é o índice de *Malmquist*, que mede a variação da eficiência entre dois períodos.
Se $\mathcal{M}_0 > 1$, a produtividade aumentou. Se $\mathcal{M}_0 < 1$ a produtividade diminuiu.

Esse índice é útil para avaliar como uma DMU evolui ao longo do tempo em termos de eficiência técnica e inovação tecnológica.

O efeito emparelhamento (*Catch-Up Effect*) avalia o quanto uma empresa se aproxima da fronteira de eficiência entre períodos consecutivos. Ele mede as mudanças na eficiência técnica pura de uma unidade produtiva. A fórmula é dada por Fare *et al.* (1994) como:

$$\text{Efeito Emparelhamento} = \frac{\mathcal{D}_0^t(x^t, y^t)}{\mathcal{D}_0^{t+1}(x^t, y^t)}$$

Onde:

- Um valor maior que 1 indica uma melhoria na eficiência técnica.
- Um valor menor que 1 sugere uma redução na eficiência.

O efeito emparelhamento permite identificar quais concessionárias estão melhorando sua eficiência técnica ao se aproximarem da fronteira de eficiência. Esse componente é útil para determinar o desempenho relativo entre empresas no setor, considerando fatores como volume de energia transmitida e custos operacionais.

O efeito Deslocamento (*Frontier-Shift Effect*) componente mede a mudança na própria fronteira de eficiência, capturando avanços tecnológicos ou alterações estruturais no setor. De acordo com Coelli *et al.* (2005), a fórmula é expressa como:

$$\text{Efeito Deslocamento} = \sqrt{\frac{\mathcal{D}_0^t(x^t, y^t)}{\mathcal{D}_0^t(x^{t+1}, y^{t+1})} \times \frac{\mathcal{D}_0^{t+1}(x^t, y^t)}{\mathcal{D}_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}}$$

- Um valor maior que 1 indica progresso tecnológico, com deslocamento positivo da fronteira.
- Um valor menor que 1 reflete retrocesso da fronteira.

Por outro lado, o efeito deslocamento captura o impacto de avanços tecnológicos no setor. Zhang *et al.* (2016) destacam que a implementação de redes inteligentes e tecnologias de automação desloca a fronteira tecnológica, incentivando maior eficiência geral no sistema.

No setor de transmissão de energia elétrica, o Índice de *Malmquist* pode ser usado para avaliar como a introdução de novas tecnologias, como as redes inteligentes (*Smart Grids*), impactou a eficiência das empresas ao longo do tempo, comparando períodos anteriores e posteriores à adoção dessas inovações.

No setor de transmissão de energia elétrica, o DEA e o índice *Malmquist* são amplamente utilizados para medir a eficiência das empresas concessionárias. Esse setor é caracterizado por altos custos de infraestrutura e um papel estratégico no fornecimento de eletricidade para o país. No Brasil, por exemplo, o modelo DEA pode ser aplicado para avaliar a eficiência de concessionárias que operam linhas de transmissão, considerando variáveis como capital investido, custos operacionais, e volume de energia transmitida.

Segundo Zhang *et al.* (2016), a aplicação do DEA e do índice *Malmquist* no setor permite identificar quais concessionárias estão operando de maneira mais eficiente, ajudando a melhorar a alocação de recursos e a promover maior eficiência no sistema de transmissão de energia elétrica.

A flexibilidade dessa metodologia a torna uma ferramenta ideal para o setor elétrico, uma vez que não exige que as empresas sejam homogêneas. Ele permite a comparação de concessionárias de diferentes tamanhos e características, gerando insights valiosos sobre o que pode ser melhorado para otimizar o uso de recursos e reduzir perdas no sistema.

2.3 NATUREZA DOS DADOS

Para a análise de eficiência no setor de transmissão de energia elétrica utilizando o método DEA, é fundamental selecionar variáveis de entrada e saída que reflitam adequadamente os recursos utilizados e os resultados gerados pelas concessionárias. No caso das entradas, o comprimento das linhas de transmissão (km) é uma variável essencial, pois representa a infraestrutura física disponível para a empresa transportar energia elétrica. Quanto maior o comprimento da rede, mais recursos são necessários para sua operação e manutenção. Além disso, o número de empregados reflete a força de trabalho empregada pela concessionária, sendo um recurso humano vital para a operação eficiente da infraestrutura.

Paralelamente, o número de subestações se refere à quantidade de unidades que fazem a conversão e transmissão de energia em diferentes níveis de tensão. Subestações são fundamentais para a operação das redes de transmissão, e a quantidade delas indica a extensão e a complexidade da operação da concessionária.

Como variável de saída, a capacidade de transformação (MVA) é uma escolha pertinente, pois reflete a capacidade das subestações de converter e distribuir energia para diferentes níveis de tensão, permitindo uma operação eficiente do sistema de transmissão. Essa variável é diretamente proporcional à eficiência da concessionária, já que uma maior capacidade de transformação permite que a empresa transmita mais energia para atender à demanda, otimizando o uso dos recursos disponíveis.

Para complementar a análise de eficiência no setor de transmissão de energia elétrica utilizando o método DEA, a RAP é uma variável de saída a ser considerada, especialmente como uma variável de saída. A RAP representa o valor máximo que a concessionária tem direito a receber anualmente pela prestação do serviço de transmissão, conforme regulamentado pela ANEEL. Essa receita está diretamente vinculada à infraestrutura disponível e à eficiência operacional da concessionária, sendo um indicador financeiro relevante para avaliar o desempenho econômico.

Essas variáveis são obtidas através do painel interativo da ANEEL, que fornece uma base sólida de dados confiáveis para a análise. Dessa forma, o uso da DEA, com as variáveis mencionadas, possibilita uma análise robusta da eficiência técnica no setor de transmissão de energia elétrica, promovendo uma visão ampla sobre como as concessionárias utilizam seus recursos para gerar resultados.

As concessionárias escolhidas para a análise de eficiência no setor de transmissão de energia elétrica, incluem empresas de grande relevância, como CEMIG-GT, FURNAS, CTEEP, CEEE-T, COPEL-GT, CELG G&T, ELETRONORTE, CGT ELETROSUL, e CHESF. Esses agentes possuem contratos firmados entre 1997 e 2001, o que coincide com um período de grandes transformações no setor elétrico brasileiro.

Por isso, a escolha dessas concessionárias é estratégica para o estudo, uma vez que elas representam uma amostra significativa de empresas que tiveram que se adaptar às mudanças regulatórias, que começaram a ser implementadas com as reformas do setor nos anos 1990. A análise cobre o período de 2018 a 2023, focando especialmente na fase pós-reforma.

Essas concessionárias possuem contratos diferenciados, pois foram impactadas diretamente pela Lei nº 12.783/2013, que alterou o regime de renovação das concessões de transmissão e geração de energia elétrica. Ao contrário de outras concessionárias com contratos estabelecidos após as reformas iniciais do setor (geralmente em processos de

licitação mais recentes), essas empresas tiveram que se adequar a um modelo regulatório híbrido, que combinava obrigações contratuais anteriores com as novas exigências legais.

Segundo a ANEEL (2023), a Lei nº 12.783/2013 introduziu uma série de mudanças, como:

- Renovação condicionada ao atendimento de critérios de eficiência: Para ter suas concessões renovadas, as empresas precisavam demonstrar melhorias em indicadores de desempenho, como qualidade do serviço, redução de perdas e aumento da capacidade de transmissão.
- Redução das receitas para ativos amortizados: As concessionárias com ativos já amortizados ou depreciados tiveram sua RAP ajustada, o que reduziu as margens de lucro e incentivou uma gestão mais eficiente.
- Foco na modernização da infraestrutura: As empresas foram obrigadas a investir na atualização tecnológica de suas redes de transmissão, visando maior confiabilidade e integração com o sistema elétrico nacional.

Essas concessionárias se diferenciam das demais empresas de transmissão, que entraram no mercado após a década de 2000 por meio de leilões, em três aspectos principais:

- Histórico Regulatório: As concessionárias listadas atuavam antes das reformas de 1995-1998, o que significa que suas operações precisaram ser ajustadas para atender às regras introduzidas posteriormente.
- Estrutura de Custos e Infraestrutura: Por serem empresas que detêm uma parte significativa das linhas de transmissão mais antigas e extensas, muitas de suas instalações já estavam depreciadas, o que influenciou diretamente a metodologia de cálculo da RAP e os incentivos regulatórios para a renovação.
- Exposição a Mudanças Contratuais: Essas empresas tiveram maior impacto com a mudança de regime, pois precisaram aderir ao novo modelo regulatório, que exigia maior transparência e eficiência para justificar a continuidade de suas operações.

Zhang *et al.* (2016) destacam que mudanças regulatórias podem atuar como catalisadores para melhorias de eficiência, especialmente em setores de infraestrutura. No Brasil, segundo a EPE (2019), as concessionárias afetadas pela nova regulação mostraram uma evolução gradual em seus indicadores de eficiência, especialmente no período posterior a 2018, refletindo os incentivos regulatórios e a modernização obrigatória de seus ativos.

Para realizar os cálculos para medir a análise de eficiência técnica e operacional no setor de transmissão de energia elétrica será utilizado o *software* R, que se justifica por sua

robustez e versatilidade na aplicação de métodos quantitativos, como a DEA e o Índice de *Malmquist*. Dessa forma, a utilização dessa ferramenta tecnológica assegura o rigor metodológico da pesquisa, contribuindo para uma análise robusta e confiável que apoie tomadas de decisão baseadas em evidências.

3 EFICIÊNCIA DAS CONCESSIONÁRIAS DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Este capítulo analisa a eficiência técnica e operacional das concessionárias de transmissão de energia elétrica no Brasil, utilizando métodos quantitativos como a DEA e o Índice de *Malmquist*. Os resultados obtidos são avaliados para identificar os fatores que influenciam o desempenho do setor e propor melhorias.

No início, é apresentada a análise de eficiência operacional com base nos modelos CCR e BCC, que permitem avaliar as empresas sob diferentes pressupostos de retornos de escala. Essa análise destaca as concessionárias que utilizam seus recursos de forma eficiente e aquelas que enfrentam desafios para otimizar suas operações.

Em seguida, o capítulo aborda a avaliação do Índice de *Malmquist*, que analisa a evolução da produtividade total dos fatores ao longo do tempo. A decomposição do índice em eficiência técnica e mudança tecnológica possibilita compreender o impacto das inovações e das práticas operacionais no desempenho das empresas.

Por fim, são discutidas as implicações e considerações sobre os resultados obtidos. Essa seção reflete sobre os principais achados da análise e sua relevância para o setor elétrico, destacando possíveis ações para aprimorar a eficiência e garantir a sustentabilidade do segmento de transmissão.

3.1 EFICIÊNCIA OPERACIONAL NOS MODELOS CCR E BCC

O ciclo de revisão tarifária mais recente ocorreu entre julho de 2018 a junho de 2023, e foi regido pelas políticas regulatórias da ANEEL, que é estruturado com o objetivo de equilibrar eficiência operacional e modicidade tarifária. Esse processo busca incentivar as empresas a melhorar sua eficiência técnica e econômica, por meio de mecanismos que penalizam ineficiências e recompensam ganhos de produtividade.

Durante as revisões, a ANEEL avalia os custos operacionais gerenciáveis, os investimentos realizados e os indicadores de qualidade do serviço, como continuidade e segurança no fornecimento. Nesse contexto, a análise de dados como RAP, extensão de linhas, número de subestações, estimativa de empregos gerados e capacidade de transformação traz importância de forma colaborativa.

Esses indicadores refletem não apenas o desempenho técnico das concessionárias, mas também sua contribuição para o desenvolvimento socioeconômico e sua capacidade de atender às demandas crescentes do sistema elétrico. Trabalhar com esses dados permite uma análise mais abrangente da eficiência e dos impactos das políticas regulatórias.

O Gráfico 2 apresenta o *score* médio de eficiência técnica das 9 concessionárias de transmissão entre 2018 e 2023. Foram utilizados os modelos CCR - Retornos Constantes de Escala, BCC - Retornos Variáveis de Escala, e o cálculo da Eficiência de Escala, que representa a razão entre os dois primeiros. Esses índices, variando de 0 a 1, indicam eficiência máxima quando atingem 1.

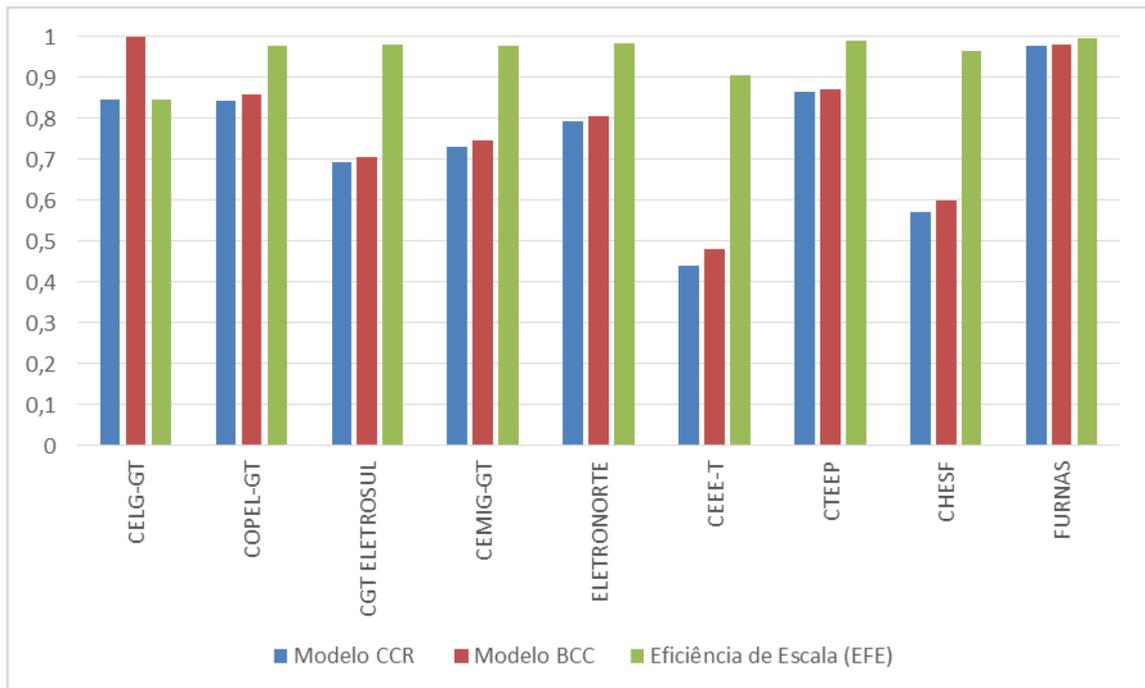
A análise combinada permite identificar ineficiências técnicas e estruturais, além de avaliar o quão próxima uma concessionária está de operar em uma escala ótima. Essa análise, no entanto, não pode ser dissociada do cenário político e econômico do período, marcado por desafios financeiros, mudanças regulatórias e privatizações significativas no setor de energia.

De início, observa-se que concessionária como CTEEP e FURNAS demonstram resultados consistentes e elevados. A CTEEP apresenta CCR (0,87), BCC (0,87) e uma EFE de 0,99, destacando-se como uma das empresas mais bem ajustadas em termos de eficiência técnica e de escala. Já a FURNAS alcança eficiência próxima a máxima nos indicadores, com CCR (0,98), BCC (0,98) e máxima no EFE (1,00), consolidando-se como referência no setor, combinando gestão eficaz e operação em escala ótima.

Em contrapartida, A CEEE-T se destaca negativamente, apresentando as piores pontuações nos três indicadores: CCR (0,44), BCC (0,48) e EFE (0,91). Esses resultados indicam ineficiências tanto técnicas quanto de escala, refletindo problemas estruturais e históricos significativos. Isso sugere que essa concessionária, que foi privatizada em 2021, precisa de reestruturação profunda, incluindo melhorias na gestão e nos processos operacionais, para alcançar níveis aceitáveis de eficiência.

O período entre 2018 e 2023 foi marcado por desafios econômicos importantes. A lenta recuperação da crise econômica de 2015-2016 foi seguida por um cenário de pandemia em 2020, que trouxe impacto direto na demanda energética e nos custos operacionais das concessionárias. Paralelamente, a inflação elevada e o aumento das taxas de juros no Brasil encareceram os financiamentos para expansão e modernização das redes de transmissão. Apesar disso, o setor elétrico manteve sua posição estratégica na economia, recebendo incentivos para manter a segurança do fornecimento de energia em um momento de fragilidade econômica nacional

Gráfico 2 - Índice Médio de Eficiência no Período de 2018 a 2023.



Fonte: ANEEL, 2024 - Elaboração Própria

Do ponto de vista político, o período entre 2018 e 2023 foi marcado por mudanças significativas que moldaram o setor elétrico brasileiro, trazendo impactos diretos na operação e eficiência das concessionárias de transmissão. Uma das alterações mais emblemáticas foi a conclusão da privatização da Eletrobrás em 2022, que transferiu o controle acionário da estatal para investidores privados, com o objetivo de aumentar sua eficiência e capacidade de investimento, embora tenha gerado debates sobre possíveis consequências para as tarifas e a qualidade do serviço.

Simultaneamente, políticas de incentivo às energias renováveis, como solar e eólica, ganharam destaque, mas também trouxeram desafios para a integração dessas fontes no sistema elétrico, exigindo ajustes para garantir a estabilidade da rede. Por fim, diante das crescentes preocupações com as mudanças climáticas, o setor elétrico começou a adotar medidas para fortalecer a resiliência da infraestrutura energética, visando garantir a continuidade e segurança do fornecimento em um cenário de impactos climáticos cada vez mais evidentes.

Essas transformações mostram um período de reestruturação e adaptação, no qual as políticas regulatórias desempenharam um papel importante na modernização e sustentabilidade do setor. As concessionárias mais eficientes, como FURNAS e CTEEP, conseguiram aproveitar essas exigências como oportunidades para se consolidar, enquanto

empresa como CEEE-T, com baixo índice de eficiência, enfrenta desafios significativos para cumprir as metas regulatórias.

Os modelos CCR e BCC destacam diferenças importantes no desempenho das concessionárias. O alto índice CCR indica que a concessionária está operando de forma eficiente sob a premissa de que sua escala é ótima, ou seja, consegue maximizar a produção para os insumos utilizados sem necessidade de ajustes na escala de operação. É um desempenho ideal em condições de retornos constantes, onde a proporção de insumos e produtos se mantém constante.

O indicador BCC próximo de 1, reflete eficiência técnica considerando retornos variáveis, ou seja, a concessionária está utilizando seus recursos de maneira otimizada em relação ao seu tamanho atual. Esse modelo ajusta a análise para diferentes escalas, permitindo que mesmo empresas que não operem na escala ótima sejam avaliadas de maneira mais justa.

A CELG-GT apresenta eficiência máxima no modelo BCC (1,00), mas registra uma ligeira discrepância no CCR (0,85). Isso sugere que, embora tecnicamente eficiente sob retornos variáveis de escala, a concessionária poderia ajustar sua operação para se alinhar a retornos constantes. A EFE de 0,85 reforça a necessidade de ajustes na escala para alcançar eficiência plena. De forma semelhante, a COPEL-GT apresenta índices equilibrados, com CCR (0,84), BCC (0,86) e uma EFE de 0,98. Embora sua operação seja consistente e próxima da escala ótima, há margens para pequenos ajustes técnicos.

Por outro lado, empresas como CGT Eletrosul e CEMIG-GT registram baixos índices de eficiência técnica. A CGT Eletrosul apresenta CCR (0,69) e BCC (0,71), enquanto a CEMIG-GT registra CCR (0,73) e BCC (0,75). Em ambos os casos, a eficiência de escala (EFE = 0,98) indica que as empresas já operam em condições adequadas de tamanho, mas ainda precisam melhorar seus processos internos e gestão para otimizar sua eficiência técnica. A Eletronorte, com CCR (0,79) e BCC (0,81), segue uma tendência similar, estando próxima da escala ideal, mas com espaço para avanços técnicos.

Por fim, a CHESF apresenta índices baixos nos modelos CCR (0,57) e BCC (0,60), embora sua EFE (0,97) indique que opera próximo da escala ideal. Isso demonstra que a concessionária enfrenta ineficiências técnicas significativas, sendo necessário investir em melhorias de gestão e processos internos.

Essas análises mostram que, enquanto algumas concessionárias, como FURNAS e CTEEP são exemplos de alta eficiência técnica e operacional, outras, como CEEE-T e CHESF, enfrentam desafios significativos. Já concessionárias como CELG-GT, COPEL-GT e

Eletronorte estão próximas da eficiência plena, mas ainda possuem oportunidades para melhorias pontuais. A análise conjunta dos modelos CCR, BCC e EFE oferece uma visão abrangente sobre as áreas críticas de cada concessionária, auxiliando no planejamento de estratégias para aumentar a eficiência no setor de transmissão.

3.2 AVALIAÇÃO DO ÍNDICE *MALMQUIST*

O Índice de *Malmquist* é uma ferramenta importante para avaliar as mudanças na produtividade total ao longo do tempo em diferentes concessionárias de transmissão de energia. Ele se divide em dois componentes principais: o efeito de deslocamento da fronteira tecnológica e o efeito de emparelhamento técnico.

O efeito de deslocamento analisa o avanço ou retrocesso da tecnologia disponível, refletindo o progresso ou estagnação do setor como um todo. Já o efeito de emparelhamento mede o quão próxima cada empresa está da fronteira eficiente em períodos distintos, destacando melhorias ou perdas de eficiência em relação ao uso dos seus recursos internos.

Um aspecto importante do Índice de *Malmquist* é que seus valores não se limitam a 1. Quando o índice apresenta um valor maior que 1, isso significa que houve um aumento na produtividade total, seja por avanços tecnológicos ou melhorias na eficiência. Um valor igual a 1 indica estabilidade na produtividade, sem ganhos ou perdas significativos entre os períodos avaliados. Por outro lado, valores menores que 1 apontam para uma redução na produtividade, que pode estar relacionada a retrocessos tecnológicos ou a uma piora na gestão dos recursos.

Essa flexibilidade no índice permite uma análise detalhada, identificando tanto os efeitos externos, como mudanças tecnológicas, quanto os internos, como a capacidade de gestão das empresas, oferecendo uma visão abrangente sobre os fatores que influenciam o desempenho ao longo do tempo.

A análise dos resultados do Índice de *Malmquist* apresentados na Tabela 1 revela variações significativas no desempenho das concessionárias ao longo do período de 2018 a 2023, refletindo tanto mudanças na eficiência técnica quanto no avanço da fronteira tecnológica. Observa-se que concessionárias como CGT Eletrosul e CHESF apresentam altos índices em 2018 e 2023, o que pode indicar ganhos consistentes na eficiência técnica e adaptação às mudanças regulatórias impostas pela Lei nº 12.783/2013.

Por outro lado, empresas como CEMIG GT e COPEL GT demonstram baixos índices, especialmente em 2023, sugerindo dificuldades em acompanhar o progresso tecnológico ou ajustar suas operações às exigências regulatórias. O aumento expressivo no índice da Eletronorte entre 2022 e 2023 reflete um impacto positivo possivelmente associado à modernização da infraestrutura ou melhorias operacionais.

Essas diferenças podem ser atribuídas às especificidades contratuais e às condições dos ativos, destacando a influência do regime regulatório nas decisões de investimento e gestão operacional das concessionárias, especialmente no contexto de incentivos para renovação e eficiência implementados pela ANEEL.

Tabela 1 - Índice *Malmquist* no Período de 2018 a 2023

ANO	CEMIG GT	CEEE T	CGT ELETROSUL	ELETRO NORTE	CTEEP	COPEL GT	CHESF	FURNAS	CELG GT
2018	0,37	1,92	3,45	0,55	1,32	0,41	3,46	0,78	0,86
2019	0,47	2,17	1,00	0,93	1,59	0,84	1,18	0,86	0,77
2020	0,77	1,32	1,13	0,82	1,37	0,55	2,13	0,99	0,55
2021	0,32	2,98	1,92	0,72	0,89	0,43	3,64	0,94	0,50
2022	0,35	1,24	1,92	2,56	1,00	0,27	3,75	1,00	0,48
2023	0,20	1,93	0,40	2,57	0,36	0,73	3,59	0,97	0,48

Fonte: ANEEL, 2024 - Elaboração Própria

A Tabela 2 apresenta os valores do Efeito Deslocamento como parte do desdobramento do Índice de *Malmquist*, evidenciando o impacto do avanço ou retrocesso da fronteira tecnológica sobre as concessionárias entre 2018 e 2023. É possível identificar que concessionárias como CEEE-T e CHESF apresentaram valores elevados em 2023 (3,31 e 1,90, respectivamente), o que indica que essas empresas conseguiram acompanhar ou até mesmo se beneficiar do deslocamento positivo da fronteira tecnológica, possivelmente por meio de investimentos em modernização e adaptação às novas exigências regulatórias da ANEEL.

Por outro lado, concessionárias como CELG GT e COPEL GT registraram baixos índices, como 0,69 e 0,87 em 2023, respectivamente, refletindo desafios em implementar inovações tecnológicas ou em responder às pressões regulatórias para a melhoria da eficiência.

A Eletronorte, em particular, demonstra uma evolução expressiva no efeito deslocamento, saindo de 0,74 em 2018 para 1,61 em 2023. Esse aumento pode estar

relacionado a investimentos em infraestrutura tecnológica ou modernização de seus ativos, alinhados às exigências impostas pela Lei nº 12.783/2013 para renovação de concessões.

Esses resultados reforçam a importância do efeito deslocamento como um indicador do progresso tecnológico no setor de transmissão de energia elétrica, refletindo o impacto das mudanças regulatórias na necessidade de adaptação das concessionárias. A análise destaca ainda como o avanço tecnológico é heterogêneo entre as concessionárias, influenciado por condições específicas de infraestrutura, gestão e capacidade de investimento.

Tabela 2 - Efeito Deslocamento no Período de 2018 a 2023

ANO	CEMIG GT	CEEE T	CGT ELETROSUL	ELETRO NORTE	CTEEP	COPEL GT	CHESF	FURNAS	CELG GT
2018	0,60	1,39	1,85	0,74	1,14	0,64	1,87	0,78	1,04
2019	0,67	1,50	1,00	0,97	1,26	0,87	1,14	0,85	0,95
2020	0,88	1,15	1,06	0,91	1,17	0,74	1,48	0,99	0,74
2021	0,55	1,76	1,39	0,85	0,93	0,66	1,91	0,94	0,72
2022	0,57	1,15	1,39	1,61	1,00	0,52	1,94	1,00	0,69
2023	0,43	3,31	0,63	1,61	0,59	0,87	1,90	0,95	0,69

Fonte: ANEEL, 2024 - Elaboração Própria

A Tabela 3 apresenta os resultados do Efeito Emparelhamento, que mede a capacidade das concessionárias de transmissão de energia elétrica em se aproximar da fronteira de eficiência ao longo do tempo. O desempenho varia entre as empresas no período de 2018 a 2023, refletindo diferenças na gestão e na adaptação às exigências regulatórias.

Concessionárias como CEEE-T e CHESF se destacam em 2023, com índices de 3,05 e 1,89, respectivamente, indicando que essas empresas conseguiram melhorar significativamente sua eficiência técnica em relação aos melhores desempenhos observados na fronteira tecnológica. Isso pode ser atribuído a esforços em gestão operacional e otimização de recursos.

Por outro lado, concessionárias como CELG GT e COPEL GT mantiveram índices consistentemente baixos, como 0,69 e 0,61 em 2023, respectivamente, sugerindo dificuldades em melhorar a eficiência técnica ou em adotar práticas mais avançadas no uso de seus recursos. A Eletronorte, por sua vez, mostra um índice de emparelhamento relativamente alto e constante ao longo do período, com destaque para 1,59 em 2023, o que indica avanços em eficiência técnica, possivelmente ligados à modernização de processos e melhorias na operação.

Esses resultados são consistentes com o contexto regulatório imposto pela Lei nº 12.783/2013, que exigiu a melhoria dos indicadores de desempenho como condição para renovação de concessões. A análise do efeito emparelhamento reforça como as ações de gestão interna e os investimentos em eficiência podem ser decisivos para que as concessionárias se aproximem da fronteira de eficiência, mesmo em um ambiente regulatório desafiador e competitivo.

Tabela 3 - Efeito Emparelhamento no Período de 2018 a 2023

ANO	CEMIG GT	CEEE T	CGT ELETROSUL	ELETRO NORTE	CTEEP	COPEL GT	CHESF	FURNAS	CELG GT
2018	0,61	1,38	1,87	0,74	1,15	0,64	1,86	1,00	0,82
2019	0,69	1,45	1,00	0,96	1,26	0,96	1,03	1,01	0,81
2020	0,88	1,15	1,07	0,91	1,17	0,75	1,44	1,00	0,74
2021	0,58	1,69	1,38	0,85	0,95	0,65	1,91	1,00	0,69
2022	0,61	1,08	1,38	1,59	1,00	0,52	1,94	1,00	0,69
2023	0,47	3,05	0,64	1,59	0,61	0,84	1,89	1,03	0,69

Fonte: ANEEL, 2024 - Elaboração Própria

De maneira geral, o desempenho heterogêneo entre as concessionárias analisadas reafirma a influência das mudanças regulatórias e das condições individuais de cada empresa no setor de transmissão.

3.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS

O período analisado, entre 2018 e 2023, foi marcado por um cenário político, social e econômico desafiador no Brasil, que impactou diretamente o setor de transmissão de energia elétrica. Politicamente, o país passou por mudanças significativas, como a privatização da Eletrobras em 2022, um marco que visava aumentar a eficiência e a capacidade de investimento da empresa, mas que também gerou intensos debates sobre os possíveis impactos na modicidade tarifária e na qualidade do serviço.

No âmbito social, a pandemia da Covid-19, iniciada em 2020, trouxe graves consequências para a economia e a infraestrutura energética, com quedas na demanda de energia e desafios na manutenção dos serviços essenciais. Economicamente, o período foi marcado por uma lenta recuperação após a crise de 2015-2016, seguida por inflação elevada e aumento nas taxas de juros, fatores que encareceram financiamentos e limitaram investimentos em modernização e expansão das redes de transmissão. Nesse contexto, o setor

elétrico precisa ser adaptado para garantir a continuidade e a estabilidade não adequada de energia, equipado com maior eficiência técnica, adaptação tecnológica e gestão otimizada em um ambiente regulatório cada vez mais exigente.

Embora os resultados indiquem uma evolução positiva no setor de transmissão de energia elétrica entre 2018 e 2023, essa evolução ocorreu de forma heterogênea, refletindo as diferenças estruturais, gerenciais e tecnológicas entre as concessionárias. A análise dos modelos CCR e BCC, conjuntamente com o Índice de *Malmquist*, revela disparidades no desempenho das empresas, demonstrando que, enquanto algumas operações avançaram significativamente, outras enfrentaram dificuldades para alcançar melhorias consistentes.

Os modelos CCR e BCC demonstraram que empresas como FURNAS e CTEEP alcançaram índices elevados em ambos os cenários, queda eficiência técnica consistente e capacidade de operar próximo da escala ideal. Em contrapartida, as entregas como CEEE-T e CHESF obtiveram resultados significativamente inferiores, com índices CCR e BCC baixos, visando desafios na otimização da utilização de seus recursos e no ajuste de suas escalas operacionais. Essas diferenças refletem variações na gestão interna, nos investimentos em infraestrutura e na resposta às políticas regulatórias.

O Índice de *Malmquist* destacou ainda mais essa evolução heterogênea. Concessionárias como FURNAS e CHESF obtiveram índices elevados no efeito de deslocamento da fronteira tecnológica, mostrando que se beneficiaram de inovações e avanços tecnológicos no período. Essas empresas se adaptaram rapidamente às exigências regulatórias e implementaram tecnologias como redes inteligentes e automação, melhorando sua eficiência e competitividade. Por outro lado, empresas como COPEL-GT e CELG-GT enfrentarão dificuldades ao acompanhar esses avanços, com índices baixos sem efeito de deslocamento, o que aponta limitações em modernizar suas operações ou em investir em novas tecnologias.

O efeito de emparelhamento também reforça a natureza heterogênea da evolução. Enquanto as aeronaves da Eletronorte demonstraram melhoria significativa em sua eficiência técnica, aproximando-se da fronteira de eficiência ao longo do tempo, outras, como a CEMIG-GT, apresentaram progresso lento ou estagnado, refletindo desafios internos relacionados à gestão e ao aproveitamento de recursos.

A heterogeneidade da evolução também é influenciada pelo histórico e pelas condições específicas de cada operação. Empresas que operam há mais tempo, como a CEEE-T, herdaram infraestrutura mais antiga e depreciada, exigindo maiores esforços de

modernização para alcançar níveis semelhantes de eficiência. Em contrapartida, expectativas como FURNAS, com histórico de melhor desempenho e capacidade de investimento mais robusta, obtêm atualizações tecnológicas de maneira mais eficaz.

Portanto, a hipótese de evolução positiva no setor é confirmada, mas de forma desigual entre as operações. O panorama geral aponta para um setor que avançou em eficiência técnica e modernização tecnológica, embora com disparidades significativas. Essas diferenças refletem não apenas a capacidade individual das empresas em se adaptarem a um ambiente regulatório exigente, mas também a importância de políticas públicas que incentivam maior uniformidade nos investimentos e na eficiência operacional do setor como um todo. Assim, a análise evidencia que, embora algumas entregas lideraram o progresso, outras precisam enfrentar desafios estruturais e gerenciais para acompanhar o ritmo das transformações do setor.

Essa heterogeneidade ressalta a necessidade de políticas públicas mais direcionadas para fomentar investimentos em modernização, especialmente entre as empresas que apresentam maiores déficits de eficiência. Além disso, o aprimoramento da regulação contínua, com incentivos claros à eficiência e à inovação, será fundamental para garantir a sustentabilidade e a competitividade do setor.

Por fim, o setor de transmissão de energia elétrica mostrou resiliência e capacidade de adaptação em um contexto político, social e econômico. A análise realizada evidenciou que, apesar dos desafios, o setor avançou em direção a um modelo mais eficiente e moderno, essencial para atender às demandas de uma economia em crescimento e à exigência de sustentabilidade. No entanto, o caminho para uma eficiência plena e uniforme ainda exige esforços significativos, tanto por parte das concessionárias quanto das políticas regulatórias e de incentivos.

CONCLUSÃO

O setor de energia elétrica desempenha uma função estratégica no desenvolvimento econômico e social do Brasil, sendo essencial para garantir a estabilidade e continuidade do fornecimento de energia. Este estudo concentrou-se na análise do segmento de transmissão de energia elétrica, responsável por conectar os centros de geração aos mercados consumidores, destacando sua importância no equilíbrio entre oferta e demanda em um país de grande extensão territorial e com matriz energética predominantemente renovável.

Nesse contexto, o trabalho abordou as condições regulatórias distintas e os desafios enfrentados pelas concessionárias selecionadas de transmissão entre 2018 e 2023, período correspondente ao ciclo mais recente de revisão tarifária realizado pela ANEEL. Este mecanismo regulatório, tem como objetivo garantir tarifas justas para os consumidores ao mesmo tempo que incentiva as concessionárias a aprimorar sua eficiência técnica e operacional.

O modelo regulatório busca equilibrar os custos operacionais das empresas com a necessidade de promover investimentos em modernização e expansão da rede, garantindo assim a continuidade e a qualidade do serviço de transmissão. Essas instruções são reforçadas por incentivos que visam melhorar a eficiência e a competitividade no setor, o que foi particularmente importante em um período marcado por desafios econômicos, sociais e tecnológicos.

Os objetivos propostos foram atingidos ao avaliar a eficiência operacional das concessionárias e identificar os fatores que influenciam sua produtividade. Por meio da aplicação dos modelos DEA (CCR e BCC) e do Índice de *Malmquist*, foi possível mensurar o desempenho técnico das empresas, destacando avanços obtidos ao longo do período analisado. A análise revelou disparidades significativas entre as concessionárias, evidenciando diferenças relacionadas à modernização tecnológica, à capacidade gerencial e às condições estruturais herdadas de suas trajetórias históricas.

A metodologia utilizada, ao comparar instruções semelhantes sob diferentes condições de escala e ao analisar variações temporais, justifica os resultados encontrados. Os baixos índices CCR e BCC em algumas empresas refletem desafios estruturais, como a necessidade de modernização de infraestrutura e a falta de alinhamento gerencial. Já as transações com índices elevados demonstram que investimentos estratégicos em tecnologia e melhorias operacionais foram determinantes para sua eficiência.

O Índice de *Malmquist* confirmou que a adaptação às mudanças regulatórias e ao progresso tecnológico foram fundamentais para o deslocamento da fronteira de eficiência, enquanto o efeito de emparelhamento destacou a capacidade gerencial de cada empresa em se aproximar dessa fronteira.

Dessa forma, a hipótese de que houve uma evolução positiva no setor de transmissão de energia elétrica no período analisado foi confirmada, embora de maneira desigual. Os resultados mostram que, embora algumas operações avançaram significativamente em eficiência técnica e tecnológica, outros ainda enfrentam desafios para acompanhar suas operações às melhores práticas do setor.

Essa análise, fundamentada em uma metodologia robusta e amplamente reconhecida, reforça a importância de um ambiente regulatório que continue incentivando a modernização do setor e promovendo eficiência e competitividade. Políticas públicas consistentes e investimentos estratégicos em tecnologia são essenciais para enfrentar os desafios do setor de transmissão, garantindo um serviço de qualidade e sustentável em um contexto de crescentes demandas por energia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIGNER, *et at.*, (1977) **Formulação E Estimativa de Estocástico Fronteira Produção Função Models.** Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/240321479_P_Schmidt_1977Formulation_and_estimation_of_stochastic_frontierproduction_function_models > Acesso em 09/09/2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL) (2022). **Resolução Normativa ANEEL Nº 1.003, DE 1º DE FEVEREIRO DE 2022.** Estrutura e os Submódulos dos Procedimentos de Regulação Tarifária – PRORET. Disponível em: < [RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 1.003, DE 1º DE FEVEREIRO DE 2022.pdf](#) > Acesso em: 29/08/2024.

_____, Versão 1.2 C - **Metodologia De Cálculo De Preço Teto Da Receita Anual Permitida (RAP) Dos Leilões De Concessão De Transmissão De Energia Elétrica.** ANEXO LXIV - Módulo 9: Concessionárias de Transmissão - Submódulo 9.8. Disponível em: < [Metodologia de cálculo Teto RAP.pdf](#) > Acesso em: 29/08/2024.

_____, Versão 4.2 - **Revisão Periódica Das Receitas Das Concessionárias De Transmissão.** ANEXO LX - Módulo 9: Concessionárias de Transmissão - Submódulo 9.1. Disponível em: < [REVISÃO PERIÓDICA DAS RECEITAS DAS CONCESSIONÁRIAS DE TRANSMISSÃO.pdf](#) > Acesso em: 29/08/2024.

_____, 2024. **Informações Institucionais.** Disponível em: < <https://www.gov.br/aneel/pt-br/aceso-a-informacao/institucional/historico> > Acesso em: 30/08/2024.

_____, 2000 a 2023. **Estoque de Atos Normativos Vigentes e Revogados.** Disponível em: < www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/relatorios-e-indicadores/estoque-regulatorio > Acesso em: 24/08/2024

BANKER, R. D., CHARNES, A., & COOPER, W. W. (1984). **Alguns modelos para estimar ineficiências técnicas e de escala na análise de envoltório de dados.** Disponível em: < <https://www.jstor.org/stable/2631725> > Acesso em: 12/09/2024.

BRASIL. Lei nº 8.987, de 1995. **Lei das Concessões.** Diário Oficial da União, Brasília, DF. Disponível em: < https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/18987cons.htm > Acesso em: 10/09/2024.

_____. Lei nº 9.074, de 1995. **Lei de Outorga E Prorrogações Das Concessões E Permissões De Serviços Públicos.** Diário Oficial da União, Brasília, DF. Disponível em: < https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9074compilada.htm > Acesso em: 10/09/2024.

_____. Lei nº 9.427, de 1996. **Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL.** Diário Oficial da União, Brasília, DF. Disponível em: < https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19427cons.htm > Acesso em: 10/09/2024.

_____. Lei nº 10.848, de 2004. **Comercialização De Energia Elétrica.** Diário Oficial da União, Brasília, DF. Disponível em: < https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/110.848.htm > Acesso em: 10/09/2024.

_____. Lei nº 12.783, de 2013. **Renovação das Concessões.** Diário Oficial da União, Brasília, DF. Disponível em: < https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/lei/112783.htm > Acesso em: 10/09/2024.

BOYER, R. **Teoria da Regulação: uma análise crítica.** São Paulo: Nobel, 1990. Disponível em: < <file:///C:/Users/e707968/Downloads/raizesmin,+7.+Manoel+Malaguti.71-96.pdf> > Acesso em: 09/09/2024.

CHARNES, A.; COOPER, WW; RHODES, E. (1978) **Medindo a eficiência das unidades de tomada de decisão.** Disponível em: < <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1385206> > Acesso em: 12/09/2024.

CHRISTENSEN; JORGENSON E LAU (1973). **Fronteiras Transcendentais de Produção Logarítmica.** Disponível em: < <https://www.jstor.org/stable/1927992> > Acesso: 09/09/2024.

COELLI, T. J. **Measurement of total factor productivity growth and biases in technological change in Western Australian agriculture.** Journal of Applied Econometrics. Disponível em: < <https://www.jstor.org/stable/2284954> > Acesso em: 28/09/2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE), 2024. **Modernização do Setor Elétrico.** Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/pt/areas-de-atuacao/energia-eletrica/modernizacao-do-setor-eletrico> > Acesso em: 30/10/2024.

FARE, R., GROSSKOPF, S. e LOVELL, CAK (1994). **Fronteiras de produção.** Disponível em: < <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=268810> > Acesso em: 11/09/2024

GARBI, G. O. (2018). **Custo Médio Ponderado De Capital Regulatório No Setor De Transmissão De Energia Elétrica: Estudo Da Metodologia Da Aneel.** Tese (Monografia) – Engenharia de Produção, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Acesso em: <[GUILHERME OETTINGER GARBI - PRO18.pdf](#)> Acesso em: 24/08/2024.

JANNUZZI, G. M. *et al.*, (2003). **Análise dos investimentos no Programa de Eficiência Energética das concessionárias de distribuição de eletricidade.** Disponível em: <<https://www.fem.unicamp.br/~jannuzzi/documents/EEempresas.pdf>> Acesso em: 10/09/2024.

JÚNIOR, A. J. A. S. (2013). **Análise Da Eficiência Produtiva E Do Bem-Estar Dos Consumidores No Setor De Distribuição De Energia Elétrica Dentro Do Novo Modelo Regulatório Brasileiro.** Dissertação (Mestrado) – Economia, Universidade Federal do Espírito Santo. Acesso em: <[tese_5296_Dissertação - PPGE - SOUZA JUNIOR - 2013.pdf](tese_5296_Dissertação_-_PPGE_-_SOUZA_JUNIOR_-_2013.pdf)> Acesso em: 09/09/2024.

MARTINS, J. *et al.*, (2013). **Smart Grid para o Sistema Elétrico: Motivação, Implantação e Desafios em TI, Redes e Telecomunicações.** XXX Simpósio Brasileiro de Telecomunicações. 2012. Brasília, DF. Disponível em: [file:///C:/Users/e707968/Downloads/Minicurso-V15-b%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/e707968/Downloads/Minicurso-V15-b%20(1).pdf) Acesso em: 29/08/2024.

MANKIW, N. G. (2005). **Introdução à economia.** Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?hl=ptBR&lr=&id=gvjXEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT9&dq=introdu%C3%A7%C3%A3o+a+economia+mankiw&ots=kiGHWyyPn2&sig=9gXzDddzBlIwQnrEwA8zVqCRCc#v=onepage&q=introdu%C3%A7%C3%A3o%20a%20economia%20mankiw&f=false>> Acesso em 15/08/2024.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME) (2022). **Matriz Energética Nacional.** Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/publicacoes/matriz-energetica-nacional-2030>> Acesso em: 20/10/2024.

MEEUSEN E BROECK, V. D. (1977). **Estimativa de eficiência a partir de funções de produção Cobb-Douglas com erro composto.** Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/2525757>> Acesso em: 09/09/2024

MEDEIROS, *et al.* (2017). **As agências reguladoras e a captura: um ensaio sobre os desvios regulatórios na Agência Nacional de Energia Elétrica.** Disponível em: <<https://dspace.almg.gov.br/retrieve/118455/Sophia%20F%c3%a9lix%20Medeiros%20.pdf>>. Acesso em: 17/10/2024.

PINTO, J. *et al.*, (2013). **O setor de energia elétrica no Brasil: transformações e desafios.** Revista do BNDES, Rio de Janeiro, v. 14, n. 28, p. 303-342, dez. 2007. Disponível em: <<file:///C:/Users/e707968/Downloads/63-20-PB.pdf>> Acesso em: 08/09/2024

POSSAS, M. L.; PONDÉ, J. L.; FAGUNDES, J. (1997) **Regulação da concorrência nos setores de infra-estrutura no Brasil: elementos para um quadro conceitual.** In:

Infraestrutura - perspectivas de reorganização. Ipea. Disponível em: < https://acervo.enap.gov.br/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=25200&shelfbrowse_itemnumber=17903> Acesso em: 13/10/2024

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS) (2024). **SINDAT**. Disponível em: < <https://sig.ons.org.br/app/sinmaps/> > Acesso em: 10/10/2024

VARIAN, Hal R. **Microeconomia: Princípios básicos**. Rio de Janeiro, 7ª Edição, Ed. Campus, 2006. Disponível em: < https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4433664/mod_folder/intro/Varian%2C%20equilibrio%20geral.pdf > Acesso em: 18/09/2024

VIEIRA, G. J (2003). **Margem Tarifária Ideal Em Empresas De Distribuição De Energia Elétrica**. Disponível em: < [32. MARGEM TARIFÁRIA IDEAL EM EMPRESAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - GESMAR VIEIRA.pdf](#) > Acesso em: 09/09/2024.

ZHANG, A. *et at.*, (2009). **Effects os Competition and Policy airport productivity: An empirical investigation**. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0969699708001191> > Acesso em 10/09/2024

REFERÊNCIAS CONSULTADAS

ARAÚJO, J. L. (2002). **A Questão do Investimento no Setor Elétrico Brasileiro: Reforma e Crise**. Disponível em: < [A Questão do Investimento no Setor Elétrico Brasileiro Reforma.pdf](#) >. Acesso em 07/03/2024.

ANDRADE, G. N. e SANT'ANNA, A. P. (2014). **Análise Da Evolução Da Eficiência De Empresas De Transmissão De Energia Elétrica**. Relatórios De Pesquisa Em Engenharia De Produção - Universidade Federal Fluminense. Disponível em: < [EFICIÊNCIA DE EMPRESAS DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELETRICA.pdf](#) > Acesso em: 18/04/2024.

ARAÚJO, J. L. (2002). **A Questão do Investimento no Setor Elétrico Brasileiro: Reforma e Crise**. Disponível em: < [A Questão do Investimento no Setor Elétrico Brasileiro Reforma.pdf](#) >. Acesso em 07/03/2024.

CABRAL, M. (2022). **Efeitos da intervenção regulatória nos leilões de transmissão de energia no Brasil**. Dissertação (Mestrado) - Economia, Políticas Públicas e Desenvolvimento, Instituto Brasiliense de Direito Público. Disponível em: <[EFEITOS DA INTERVENÇÃO REGULATÓRIA NOS LEILÕES.pdf](#)> Acesso em: 18/03/2024.

DINIZ, F. F. M. (2021). **Análise do impacto regulatório quanto à aplicação da parcela variável no serviço público de transmissão de energia elétrica**. Dissertação – Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Itajubá. Disponível em: < [Análise do Impacto Regulatório Quanto à Aplicação da Parcela Variável no Serviço Público de Transmissão de Energia Elétrica.pdf](#) > Acesso em 03/03/2024.

BARBOSA, P. T. P. (2022). **Uma Análise Dos Aspectos Regulatórios E Políticas Públicas Do Caso Brasileiro**. Tese (Monografia) – Curso de Ciências Econômicas, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Acesso em: < [TCC-2022_Pedro.pdf](#) > Acesso em: 29/03/2024.

FONSECA, C. M. L. (2012). **Análise da eficiência técnica relativa de empresas brasileiras distribuidoras de energia elétrica, em 2015 e 2016**. Tese (Monografia) -Ciências Econômicas, Universidade Federal de Ouro Preto. Disponível em: < [Análise da eficiência técnica de distribuidores em 2015 2016.pdf](#) > Acesso em 18/04/2024.

FRACASSO, B. (2019). **Leilões de transmissão de energia elétrica: determinantes dos deságios nos leilões de 2011 a 2018**. Pós-Graduação (Especialização) – Governança e Controle da Regulação em Infraestrutura, ENAP. Disponível em: < [DETERMINANTES DOS DESÁGIOS.pdf](#) > Acesso em 18/03/2024.

HERNANDÉZ, C. L. G. (2010). **Modelo Regulatório do Setor Elétrico no Brasil e sua Repercussão jurídica nos Contratos de Concessão de Transmissão de Energia Elétrica**. Dissertação (Mestrado) – Curso Engenharia de Elétrica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Acesso em: <[Modelo Regulatório do Setor Elétrico no Brasil.pdf](#)> Acesso em: 18/03/2024.

HIROTA, H. H. (2006). **O Mercado de Concessão de Transmissão de Energia Elétrica no Brasil**. Dissertação (Mestrado) – Economia Aplicada, Universidade de São Paulo. Acesso em: <[O mercado de concessão de transmissão de energia elétrica.pdf](#)> Acesso em: 29/02/2024.

KURBAN, B. A. T. (2022). **Análise dos Modelos de Regulação do Setor de Energia Elétrica no Brasil a partir dos anos 1990**. Tese (Monografia) – Curso de Ciência Econômicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: <[ANÁLISE DOS MODELOS DE REGULAÇÃO DO SETOR DE ENERGIA ELÉTRICA.pdf](#)> Acesso em: 18/03/2024.

MAESTRI, C. O. N. M., & ANDRADE, M. E. M. C. (2019). **Indicadores de qualidade do fornecimento de energia no Brasil**. Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento. Disponível em: < [Indicadores de qualidade do fornecimento.pdf](#) > Acesso em: 25/05/2024.

MORAIS, A. A. (2023). **Uma análise exploratória sobre a aplicação da teoria dos leilões no setor de energia do Brasil**. Tese (Monografia) – Curso de Finanças, Universidade Federal do Ceará. Disponível em: < [APLICAÇÃO DA TEORIA DOS LEILÕES.PDF](#) > Acesso em: 19/03/2024.

PAULO, G. P. (2012). **A Utilização de Leilões em Modelos de Expansão da Rede de Transmissão de Energia Elétrica**. Dissertação (Doutorado) - Administração Pública, Escola de Administração de Empresas de São Paulo – FGV. Disponível em: < [A Utilização de Leilões em Modelos de Expansão da Rede de Transmissão de Energia Elétrica.pdf](#) > Acesso em 22/02/2024.

QUADROS, M. V. *et al.* (2014). **Análise Da Eficiência Econômica Das Distribuidoras Brasileiras De Energia Elétrica Por Meio Da Análise Envoltória De Dados (DEA)**. Artigo – XXI Congresso Brasileiro de Custos – Natal, RN, 2014. Acesso em: < [Vista do Avaliação da eficiência economia o da análise envoltória de dados \(DEA\).pdf](#) > Acesso em: 18/04/2024.

REY, O. (2012). **Um olhar para as grandes perdas de energia no sistema de transmissão elétrico brasileiro**. Setor Elétrico Brasileiro e a Sustentabilidade no Século, 21, P. 40-44. Disponível em: < [Um olhar para as grandes perdas de energia no sistema de transmissão elétrico brasileiro.pdf](#) > Acesso em 21/05/2024.

SERRADO, E. (2006). **Fronteiras paramétricas de eficiência para o segmento de transmissão de energia elétrica no Brasil**. Dissertação (Mestrado) – Ciências Econômicas, Universidade de Brasília. Disponível em: < [Análise da eficiência técnica relativa de empresas brasileiras.pdf](#) > Acesso em 18/04/2024.

SILVA, L., & OLIVEIRA, J. (2015). **Indicadores de confiabilidade em sistemas elétricos**. Revista de Brasileira Energia. Disponível em: < <https://sbpe.org.br/index.php/rbe/issue/archive> > Acesso em: 31/05/2024

VIEIRA, B. F. (2015). **Regulação por incentivo no setor elétrico brasileiro: Instituições e eficiência**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Direito, Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: < [disserta_o_final_.pdf](#) > Acesso em: 18/04/2024.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Base de Dados

Ano	Concessionária	RAP	Comprimento de Linha (km)	N de Subestação	Estimativa de Empregos Gerados	Capacidade de Transformação (MVA)
2018	CEMIG-GT	25947788	4929	38	1372	18134
2018	CEEE-T	6332962	5472	49	369	10567
	CGT					
2018	ELETROSUL	14944378	9936	45	765	30450
2018	ELETRONORTE	413262	10300	48	20	30995
2018	CTEEP	25127130	14286	76	1514	64061
2018	COPEL-GT	16236844	2580	41	959	12752
2018	CHESF	444806	17268	107	139	52320
2018	FURNAS	2021814	19572	39	98	94956
2018	CELG-GT	3750984	885	11	182	3167
2019	CEMIG-GT	17187579	4929	38	440	18134
2019	CEEE-T	5951833	5611	49	155	10649
	CGT					
2019	ELETROSUL	16644110	9936	46	410	30533
2019	ELETRONORTE	16958244	10300	48	414	31695
2019	CTEEP	20013251	14217	76	625	64461
2019	COPEL-GT	159775	2936	45	4	12902
2019	CHESF	32530255	19241	111	769	55954
2019	FURNAS	18837468	19671	39	475	95406
2019	CELG-GT	858825	896	11	21	3233
2020	CEMIG-GT	4988617	4720	38	125	19901
2020	CEEE-T	20659457	5503	49	606	10682
	CGT					
2020	ELETROSUL	15545208	10952	46	383	30533
2020	ELETRONORTE	3304986	8615	48	77	41398
2020	CTEEP	2857758	14233	76	131	64869
2020	COPEL-GT	9038102	2883	45	229	13802
2020	CHESF	4382723	19925	111	114	66758
2020	FURNAS	33025112	19280	39	1171	112709
2020	CELG-GT	9731841	896	11	238	4025
2021	CEMIG-GT	10509690	4825	38	402	20549
2021	CEEE-T	1920969	5503	49	54	10432
	CGT					
2021	ELETROSUL	15997564	10952	46	469	30533
2021	ELETRONORTE	89716786	8619	48	2118	41398
2021	CTEEP	34678135	14430	77	1060	69928
2021	COPEL-GT	4981009	3085	45	195	14304
2021	CHESF	16397196	20623	112	1961	66855
2021	FURNAS	5931589	19299	39	174	113243
2021	CELG-GT	1769795	896	11	48	4452
2022	CEMIG-GT	3380445	5116	38	181	20549
2022	CEEE-T	2174731	6102	49	57	10053
	CGT					
2022	ELETROSUL	1151250	11540	46	244	30533
2022	ELETRONORTE	3055031	11028	49	648	41398
2022	CTEEP	10067867	11058	77	1390	69928
2022	COPEL-GT	4981009	3979	46	0	14304
2022	CHESF	12639083	21136	112	1106	66855

2022	FURNAS	63393881	19008	40	2818	113243
2022	CELG-GT	22100766	896	11	626	4452
2023	CEMIG-GT	12001434	5226	39	477	20549
2023	CEEE-T	470871	6115	49	112	10053
	CGT					
2023	ELETROSUL	653415	12538	46	20	30533
2023	ELETRONORTE	5876037	11028	49	736	41398
2023	CTEEP	2371685	11058	77	348	69928
2023	COPEL-GT	3439976	3979	46	301	14304
2023	CHESF	10514500	21337	115	866	66855
2023	FURNAS	1724486	19814	40	410	113243
2023	CELG-GT	1280253	896	11	40	4452

Fonte: ANEEL, 2024

APÊNDICE B – Resultados da Eficiência

Concessionária	Ano	Eficiência CCR	Eficiência BCC	Eficiência Escala	Rendimentos Escala
CEMIG-GT	2018	0,629	0,639	0,985	Crescente
CEEE-T	2018	0,377	0,389	0,967	Crescente
CGT					
ELETROSUL	2018	0,532	0,536	0,993	Crescente
ELETRONORTE	2018	0,974	1,000	0,974	Crescente
CTEEP	2018	0,732	0,735	0,995	Crescente
COPEL-GT	2018	0,832	0,847	0,982	Crescente
CHESF	2018	0,533	0,539	0,989	Crescente
FURNAS	2018	1,000	1,000	1,000	Constante
CELG-GT	2018	0,614	1,000	0,614	Crescente
CEMIG-GT	2019	0,812	0,823	0,986	Crescente
CEEE-T	2019	0,525	0,571	0,919	Crescente
CGT					
ELETROSUL	2019	0,816	0,826	0,988	Crescente
ELETRONORTE	2019	0,818	0,826	0,991	Crescente
CTEEP	2019	0,792	0,794	0,998	Crescente
COPEL-GT	2019	1,000	1,000	1,000	Constante
CHESF	2019	0,788	0,961	0,820	Crescente
FURNAS	2019	0,990	0,992	0,997	Crescente
CELG-GT	2019	0,712	1,000	0,712	Crescente
CEMIG-GT	2020	0,795	0,812	0,979	Crescente
CEEE-T	2020	0,701	0,711	0,986	Crescente
CGT					
ELETROSUL	2020	0,807	0,818	0,987	Crescente
ELETRONORTE	2020	0,856	0,872	0,981	Crescente
CTEEP	2020	0,776	0,790	0,982	Crescente
COPEL-GT	2020	0,905	0,926	0,978	Crescente
CHESF	2020	0,655	0,696	0,941	Crescente
FURNAS	2020	1,000	1,000	1,000	Constante
CELG-GT	2020	0,984	1,000	0,984	Crescente
CEMIG-GT	2021	0,734	0,742	0,989	Crescente
CEEE-T	2021	0,388	0,429	0,904	Crescente
CGT					
ELETROSUL	2021	0,711	0,726	0,980	Crescente
ELETRONORTE	2021	1,000	1,000	1,000	Constante
CTEEP	2021	0,850	0,850	1,000	Crescente
COPEL-GT	2021	0,783	0,806	0,971	Crescente
CHESF	2021	0,523	0,524	0,998	Crescente
FURNAS	2021	1,000	1,000	1,000	Constante
CELG-GT	2021	0,884	1,000	0,884	Crescente
CEMIG-GT	2022	0,671	0,687	0,977	Crescente
CEEE-T	2022	0,353	0,423	0,835	Crescente
CGT					
ELETROSUL	2022	0,437	0,455	0,962	Crescente
ELETRONORTE	2022	0,614	0,628	0,978	Crescente
CTEEP	2022	1,000	1,000	1,000	Constante
COPEL-GT	2022	1,000	1,000	1,000	Constante

CHESF	2022	0,516	0,517	0,999	Crescente
FURNAS	2022	1,000	1,000	1,000	Constante
CELG-GT	2022	1,000	1,000	1,000	Constante
CEMIG-GT	2023	0,685	0,692	0,989	Crescente
CEEE-T	2023	0,272	0,322	0,843	Crescente
CGT ELETROSUL	2023	0,978	0,983	0,995	Crescente
ELETRONORTE	2023	0,613	0,628	0,977	Crescente
CTEEP	2023	1,000	1,000	1,000	Constante
COPEL-GT	2023	0,575	0,609	0,943	Crescente
CHESF	2023	0,514	0,515	1,000	Crescente
FURNAS	2023	0,975	0,975	1,000	Decrescente
CELG-GT	2023	0,858	1,000	0,858	Crescente

Fonte: ANEEL, 2024

DECLARAÇÃO DE APTIDÃO DO TCC



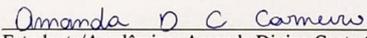
DECLARAÇÃO DE APTIDÃO DO TCC

Declaro, para os devidos fins, que a estudante Amanda Divina Costa Carneiro, matrícula 2022.2.0021.0027-7, regularmente matriculado no semestre letivo de 2024/2, do Curso de Ciências Econômicas, no turno noturno, da Escola de Direito, Negócios e Comunicação (EDNC), ESTÁ APTO, a apresentar e submeter seu Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: ANÁLISE DA EFICIÊNCIA OPERACIONAL NO SETOR DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL ENTRE 2018 E 2023, conforme disposto no Regulamento Geral Dos Trabalhos de Conclusão Dos Cursos De Graduação (TCC) em banca para avaliação.

Goiânia, 29 de novembro de 2024.


Professor/Orientador: Gesmar José Vieira

Ciente:


Estudante/Acadêmico: Amanda Divina Costa Carneiro

TERMO DE AUTORIZAÇÃO DE PUBLICAÇÃO DE PRODUÇÃO ACADÊMICA**Termo de autorização de publicação de produção acadêmica**

A estudante Amanda Divina Costa Carneiro, do Curso de Ciências Econômicas, matrícula 2022.2.0021.0027-7, telefone (62) 99334-2986, e-mail amannda.divina@gmail.com, na qualidade de titular dos direitos autorais, em consonância com a Lei nº 9.610/98 (Lei dos Direitos do autor), autoriza a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a disponibilizar o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado ANÁLISE DA EFICIÊNCIA OPERACIONAL NO SETOR DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL ENTRE 2018 E 2023, gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5 (cinco) anos, conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial de computadores, no formato especificado (Texto (PDF); Imagem (GIF ou JPEG): Som (WAVE, MPEG, AIFF, SNS); Vídeo (MPEG, MWV, AVI, QT); outros, específicos da área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação da produção científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 29 de novembro de 2024.

Assinatura da: autora: Amanda D C Carneiro

Nome completo do autor: Amanda Divina Costa Carneiro

Assinatura do professor- orientador: Geomar José Vieira

Nome completo do professor-orientador: Prof. Me. Geomar José Vieira