XXXIII Congresso Brasileiro de Custos
17, 18 e 19 de novembro de 2026
- Porto de Galinhas / PE -

Eficiência de custos e valor de mercado no setor elétrico brasileiro: evidências de benchmarking regulatório

Getúlio Oliveira Rosa (UFU/UNIUBE) - getulio.rosa@ufu.br

João Paulo GOMES BARBOSA (UFU) - joaopaulo1984@gmail.com

Lara Cristina Francisco de Almeida Fehr (UFU) - larafehr@ufu.br

Sérgio Lemos Duarte (UFU) - sergiold@ufu.br

Resumo:

Este estudo investiga a relação entre a eficiência de custos operacionais e o desempenho financeiro de empresas de energia elétrica listadas na B3, no período de 2015 a 2025. Utilizando um painel não balanceado de 33 empresas (325 observações empresa-ano), emprega-se o modelo DEA-CCR para capturar a eficiência global e testam-se três hipóteses por meio de modelos de efeitos fixos bidirecionais, com erros-padrão clusterizados, complementados por IV-GMM para tratamento da endogeneidade e regressão quantílica para explorar não linearidades. Os resultados revelam que a eficiência não se associa significativamente ao ROA no modelo de efeitos fixos, mas, quando instrumentada por sua segunda defasagem, exibe efeito positivo e significativo, sugerindo que a endogeneidade atenua a relação contemporânea. Para o Q de Tobin, a regressão quantílica mostra coeficientes positivos e significantes nos quantis 0,25 e 0,50 e a análise por quartis aponta um prêmio de aproximadamente 17% para empresas no quartil superior de eficiência, consistente com um threshold effect. A hipótese de moderação pela flexibilidade de custos foi parcialmente suportada, com efeito significativo nos quantis inferiores e mediano do Q de Tobin, mas não no quantil superior. Os achados contribuem ao evidenciar, com dados em painel e controle de endogeneidade, que a eficiência de custos afeta positivamente a rentabilidade e é precificada pelo mercado de forma não linear, com implicações para investidores, reguladores e gestores.

Palavras-chave: *Eficiência de Custos, Setor Elétrico, Regulação por Incentivos, Benchmarking*

Área temática: *Métodos quantitativos aplicados à gestão de custos*

Eficiência de custos e valor de mercado no setor elétrico brasileiro: evidências de benchmarking regulatório

RESUMO

Este estudo investiga a relação entre a eficiência de custos operacionais e o desempenho financeiro de empresas de energia elétrica listadas na B3, no período de 2015 a 2025. Utilizando um painel não balanceado de 33 empresas (325 observações empresa-ano), emprega-se o modelo DEA-CCR para capturar a eficiência global e testam-se três hipóteses por meio de modelos de efeitos fixos bidirecionais, com erros-padrão clusterizados, complementados por IV-GMM para tratamento da endogeneidade e regressão quantílica para explorar não linearidades. Os resultados revelam que a eficiência não se associa significativamente ao ROA no modelo de efeitos fixos, mas, quando instrumentada por sua segunda defasagem, exibe efeito positivo e significativo, sugerindo que a endogeneidade atenua a relação contemporânea. Para o Q de Tobin, a regressão quantílica mostra coeficientes positivos e significantes nos quantis 0,25 e 0,50 e a análise por quartis aponta um prêmio de aproximadamente 17% para empresas no quartil superior de eficiência, consistente com um threshold effect. A hipótese de moderação pela flexibilidade de custos foi parcialmente suportada, com efeito significativo nos quantis inferiores e mediano do Q de Tobin, mas não no quantil superior. Os achados contribuem ao evidenciar, com dados em painel e controle de endogeneidade, que a eficiência de custos afeta positivamente a rentabilidade e é precificada pelo mercado de forma não linear, com implicações para investidores, reguladores e gestores.

Palavras-chave: Eficiência de Custos. Setor Elétrico. Regulação por Incentivos. Benchmarking.

Área Temática: Métodos quantitativos aplicados a custos.

1 INTRODUÇÃO

O setor de energia elétrica brasileiro opera sob um modelo de regulação por incentivos do tipo price cap, no qual a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) utiliza metodologias de benchmarking para definir custos operacionais eficientes de referência (ANEEL, 2015; Pessanha et al., 2021). Nesse arcabouço, empresas que logram operar com custos abaixo do teto regulatório apropriam-se da diferença como lucro extraordinário até a próxima revisão tarifária, transformando a eficiência operacional em vantagem financeira direta (Joskow, 2014; Armstrong & Sappington, 2007). Assim, a proximidade da estrutura de custos em relação ao benchmark setorial atua como mecanismo central de criação de valor, sugerindo que firmas mais eficientes devem exibir desempenho financeiro superior.

Apesar da relevância desse mecanismo, a literatura nacional concentrou-se predominantemente na mensuração da eficiência técnica, sem avançar de forma sistemática na investigação de suas consequências financeiras ou na incorporação de variáveis gerenciais moderadoras (Lopes et al., 2020; da Silva et al., 2019). Estudos recentes começaram a explorar a interface entre eficiência e indicadores contábeis (Brandão et al., 2021; Nascimento et al., 2021), mas são majoritariamente transversais, não controlam adequadamente a endogeneidade e, sobretudo, não integram à análise variáveis da gestão estratégica de custos, como a proporção de custos variáveis, como possíveis moderadoras da relação eficiência-desempenho.

Adicionalmente, evidências internacionais sugerem que a relação entre eficiência e valor de mercado pode ser não linear, com o mercado atribuindo prêmio significativo apenas a empresas que consistentemente operam na fronteira de melhores práticas (Sueyoshi & Goto, 2012; Ros et al., 2024), hipótese ainda não testada no Brasil com dados em painel e técnicas que capturam não linearidades.

Diante disso, este estudo tem como objetivo geral investigar a relação entre eficiência de custos operacionais e o desempenho financeiro de empresas de energia elétrica listadas na B3 no período de 2015-2025. Especificamente, busca-se: (i) verificar se o escore de eficiência global está associado ao ROA; (ii) analisar se esse escore é precificado pelo mercado, refletindo-se em maior Q de Tobin, com atenção a possíveis não linearidades; e (iii) testar se a proporção de custos variáveis modera a relação entre eficiência e rentabilidade, conectando a gestão estratégica de custos à economia da regulação.

Os resultados indicam associação positiva entre eficiência e rentabilidade após controle da endogeneidade, bem como evidências de não linearidade na precificação da eficiência pelo mercado. Ao responder a essas questões, espera-se que os achados ofereçam implicações práticas em três frentes: (a) para gestores, ao evidenciar se a eficiência operacional, mesmo quando não refletida imediatamente nos lucros contábeis, agrega valor de mercado, orientando decisões de investimento em melhorias operacionais; (b) para a ANEEL e demais reguladores, ao sinalizar se o atual modelo de benchmarking funciona como um indicador de qualidade gerencial percebido pelo mercado, o que pode subsidiar o aprimoramento da regulação por incentivos; e (c) para investidores, ao sugerir que métricas de eficiência relativa podem complementar indicadores financeiros tradicionais na avaliação do valor intrínseco de concessionárias do setor elétrico.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A Gestão Estratégica de Custos (GEC) vai além do controle interno gerencial, ao posicionar a estrutura de custos como elemento importante na construção da vantagem competitiva, enfatizando análise externa e prospectiva (Slavov et al., 2024; Russo et al., 2024). Em setores regulados como o elétrico brasileiro, o benchmarking torna-se imperativo institucional: a regulação por incentivos transforma a comparação entre pares no mecanismo para definir o custo operacional eficiente (COE) e o teto tarifário (Pessanha et al., 2021; Kaplan & Anderson, 2007), reduzindo assimetrias e forçando concessionárias a confrontarem ineficiências (Costa et al., 2024; Borinelli et al., 2024).

A literatura nacional sobre GEC no setor elétrico, porém, permanece majoritariamente descritiva, com escassa investigação longitudinal sobre moderadores da relação eficiência-desempenho (Rocha, 2007). Este estudo avança ao introduzir a flexibilidade de custos (proporção de custos variáveis) como elemento amplificador ou atenuador dos retornos financeiros da eficiência, conectando a contabilidade gerencial à economia da regulação.

O modelo price cap adotado pela ANEEL desde 2007 institucionaliza a eficiência como fonte de lucro extraordinário uma vez que concessionárias abaixo do teto regulatório apropriam-se da diferença até a próxima revisão tarifária (ANEEL, 2015; Joskow, 2014), criando vínculo direto entre desempenho operacional e rentabilidade (Armstrong & Sappington, 2007; Ros et al., 2024). Evidências internacionais (Farsi et al., 2006) e nacionais (Lopes et al., 2020) reforçam ganhos de produtividade associados ao benchmarking regulatório. Contudo, a literatura

concentra-se na mensuração da eficiência técnica, sem integrar sistematicamente como variáveis de gestão estratégica de custos, especialmente a estrutura de custos variáveis, afetam sua conversão em desempenho financeiro (Fonseca, 2014; da Silva et al., 2019). Essa lacuna é particularmente relevante em setores de infraestrutura, onde a regulação por incentivos cria oportunidades para que firmas eficientes apropriem-se de ganhos de produtividade, mas a literatura ainda não avançou na identificação das condições sob as quais esse processo ocorre de forma mais intensa.

A Visão Baseada em Recursos (RBV) oferece o arcabouço teórico para compreender por que a eficiência de custos pode gerar vantagem competitiva sustentável e, consequentemente, ser precificada pelo mercado. Segundo Barney (1991) e Peteraf (1993), recursos organizacionais geram retornos acima da média se forem valiosos, raros e imperfeitamente imitáveis. Deste modo, a eficiência operacional enraizada em rotinas gerenciais, conhecimento tácito e cultura organizacional pode assumir essas características, tornando-se um ativo intangível que os concorrentes não conseguem replicar facilmente.

Contudo, a sustentabilidade dessa vantagem é fundamental para a percepção do mercado pois, conforme argumentam Ros et al. (2024) e Sueyoshi & Goto (2012), ganhos marginais de eficiência podem ser vistos como temporários ou facilmente replicáveis, sendo, portanto, desconsiderados na formação do valor de mercado. Por outro lado, empresas que consistentemente operam na fronteira de melhores práticas sinalizam competência gerencial superior e resiliência, o que justifica a atribuição de um prêmio significativo (threshold effect). Essa não linearidade, onde apenas a eficiência de fronteira é recompensada, fundamenta a hipótese H2 e orienta a estratégia empírica de análise por quartis e regressões quantílicas, permitindo capturar a heterogeneidade dos efeitos ao longo da distribuição do valor de mercado.

A articulação das três correntes revisadas (GEC, regulação por incentivos e RBV) revela um mecanismo integrado que sustenta as hipóteses de pesquisa, na medida em que a regulação por incentivos estabelece o prêmio institucional pela eficiência, criando o vínculo esperado entre custos operacionais e rentabilidade (H1). Por sua vez, a RBV explica por que apenas a eficiência persistente (fronteira) é precificada como vantagem competitiva duradoura, enquanto ganhos marginais são desconsiderados pelo mercado (H2).

Complementarmente, a literatura de *cost stickiness* (Anderson et al., 2003; Banker et al., 2011) sugere que a flexibilidade da estrutura de custos, medida pela proporção de custos variáveis, atua como um amplificador: empresas com maior capacidade de ajuste rápido a flutuações de demanda extraem maior retorno de um mesmo nível de eficiência operacional (H3). Essa integração teórica inova ao conectar a contabilidade gerencial estratégica à economia da regulação, propondo que a eficiência operacional não gera valor de forma homogênea, mas sim condicionada à estrutura de custos e à posição relativa da firma na fronteira setorial.

Com base no referencial teórico desenvolvido, formalizam-se as seguintes hipóteses:

H1 (Eficiência e rentabilidade): Empresas com escore DEA-CCR mais elevado apresentam ROA superior, ceteris paribus. O price cap transforma eficiência em lucro extraordinário durante o ciclo tarifário (Joskow, 2014; Armstrong & Sappington, 2007).

H2 (Eficiência e valor de mercado): O escore DEA-CCR está positivamente associado ao Q de Tobin, com threshold effect: o mercado precifica apenas a eficiência de fronteira. Ancorada na RBV (Barney, 1991; Peteraf, 1993), a hipótese sustenta que operar consistentemente na fronteira constitui recurso valioso, raro e

imperfeitamente imitável, sinalizando competência gerencial superior (Nascimento et al., 2021; Sueyoshi & Goto, 2012).

H3 (Moderação pela flexibilidade de custos): A proporção de custos variáveis modera positivamente a relação eficiência-rentabilidade. Firmas com estruturas mais flexíveis ajustam-se mais rapidamente a flutuações de demanda, amplificando o retorno da eficiência operacional (Anderson et al., 2003; Banker et al., 2011).

3 METODOLOGIA

Este estudo adota um desenho quantitativo, longitudinal e baseado em dados secundários, abrangendo empresas de energia elétrica listadas na B3 no período de 2015-2025. Após a exclusão de holdings puras (receita operacional líquida zero em todos os anos), o painel final contém 33 empresas e 325 observações empresa-ano. Para as regressões com variáveis instrumentais e winsorização, a amostra efetiva é de 292 observações para todos os modelos (ROA e Q de Tobin), após remoção de observações com dados faltantes e outliers. O período foi selecionado por quatro razões: (i) consolidação da metodologia DEA pela ANEEL a partir de 2015, (ii) cobertura de ciclos econômicos distintos, (iii) maximização do número de observações até 2025, e (iv) disponibilidade completa dos dados financeiros na base Refinitiv.

As variáveis contábeis e financeiras -- ROA, Q de Tobin, alavancagem, flexibilidade de custos (CPV/OPEX) e tamanho (log do ativo) -- foram extraídas da Refinitiv e definidas conforme o Quadro 1.

Variável	Fórmula / Definição	Descrição
ROA	Lucro líquido / Ativo total	Rentabilidade dos ativos.
Q de Tobin	(Valor de mercado das ações + Passivo circulante + Passivo não circulante) / Ativo total	Proxy da percepção de mercado sobre oportunidades de crescimento (Chung & Pruitt, 1994).
Alavancagem	(Passivo circulante + Passivo não circulante) / Ativo total	Nível de endividamento da firma.
Flexibilidade de Custos	CPV / OPEX	Proporção de custos variáveis, conforme literatura de cost stickiness (Anderson et al., 2003; Banker et al., 2011).
Tamanho (log_Ativo)	Logaritmo natural do ativo total	Controle para efeitos de escala.

Quadro 1. Definição das variáveis
Fonte: Elaborado pelos autores.

As variáveis contínuas foram winsorizadas nos percentis 1% e 99% (Tukey, 1977). A eficiência (DEA-input) usou OPEX (CPV + despesas + depreciação) e imobilizado como *inputs*, e receita como *output* (Sueyoshi & Goto, 2012; Nascimento et al., 2021). Estimaram-se BCC (VRS) e CCR (CRS) e adotou-se o escore CCR por maior poder discriminante (BCC atingiu 46,9% de eficientes em 2023; Medeiros et al., 2022), enquanto sua diferença decompõe ineficiência de escala (Coelli et al., 2005). As hipóteses foram testadas via *two-way FE* com erros clusterizados por firma (Wooldridge, 2010). Para endogeneidade, usou-se IV-GMM (Arellano & Bover, 1995; Blundell & Bond, 1998), com a 2ª defasagem da eficiência como instrumento para a 1ª (Roodman, 2009). Para H2, exploraram-se não linearidades via regressão quantílica *pooled* (Koenker, 2005) nos quantis 0,25/0,50/0,75 e análise por quartis (Ros et al., 2024). As especificações FE constam no Quadro 2; no IV-GMM (H1), *Score_CCR* é substituído por sua 1ª defasagem, instrumentada pela 2ª.

Modelo	Equação	Descrição
H1 -- Rentabilidade	$ROA_{it} = \alpha_i + \gamma_t + \beta_1$ Score_CCR$_{it} + \beta_2$ log_Ativo$_{it} + \beta_3$ Alavancagem$_{it} + \varepsilon_{it}$	Avalia o efeito de Score_CCR sobre a rentabilidade.
H2 -- Valor de Mercado	$Q_Tobin_{it} = \alpha_i + \gamma_t + \beta_1$ Score_CCR$_{it} + \beta_2$ log_Ativo$_{it} + \beta_3$ Alavancagem$_{it} + \varepsilon_{it}$	Examina o impacto de Score_CCR no valor de mercado.
H3 -- Moderação	$ROA_{it} = \alpha_i + \gamma_t + \beta_1$ Score_CCR$_{it} + \beta_2$ Flex_Custos$_{it} + \beta_3$ Score_CCR$_{it} \times$ Flex_Custos$_{it} + \beta_4$ log_Ativo$_{it} + \varepsilon_{it}$	Testa se a Flexibilidade de Custos modera o efeito de Score_CCR na rentabilidade.

Quadro 2. Especificação dos modelos econométricos
Nota: As equações incluem efeitos fixos de firma (α_i) e de ano (γ_t).
Fonte: Elaborado pelos autores.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Estatísticas Descritivas

A Tabela 1 apresenta as estatísticas descritivas das principais variáveis utilizadas nas análises DEA e econométricas. A amostra final é composta por 292 observações anuais de distribuidoras de energia elétrica ativas no período analisado.

Tabela 1
Estatísticas Descritivas das Variáveis da Amostra Final (2015-2025)

Variável	Observações	Média	Desvio-Padrão	Mínimo	25%	Mediana	75%	Máximo
Score CCR	292.0	0.5205	0.2861	0.0551	0.2804	0.4517	0.7743	1.0000
Score BCC	292.0	0.7395	0.2801	0.0935	0.5080	0.8212	1.0000	1.0000
Q de Tobin	292.0	1.2143	0.4066	0.4483	0.9533	1.1205	1.3939	3.0914
ROA	292.0	0.0478	0.1151	-0.4428	0.0164	0.0468	0.0734	1.0767
Flexibilidade de Custos	292.0	0.9079	0.0922	0.0762	0.8893	0.9290	0.9508	1.3582
Alavancagem	292.0	0.6957	0.3083	0.0484	0.5745	0.6836	0.7481	2.4908
Log do Ativo	292.0	23.6009	1.3206	19.4485	22.9962	23.6784	24.5822	26.4669

Fonte: Elaborado pelos autores.

A média do score de eficiência técnica (BCC) de 0,7395, superior à média do score de eficiência de escala (CCR) de 0,5205, já indica a presença de ineficiência de escala no setor, consistente com a literatura que aponta para um gap entre a eficiência puramente técnica e a eficiência em escala em mercados com características de monopólio natural (Costa et al., 2025; Farsi et al., 2006). A mediana do Q de Tobin (1,1205) sugere que, em geral, as empresas têm valor de mercado superior ao custo de reposição de seus ativos, indicando a existência de algum poder de mercado ou ativos intangíveis não contabilizados.

4.2 Análise de Eficiência (DEA)

A análise de eficiência foi conduzida por meio dos modelos DEA com retornos variáveis de escala (BCC) e constantes de escala (CCR), orientados a insumos, utilizando como inputs o OPEX (soma de CPV, despesas de vendas e depreciação/amortização) e o imobilizado, e como output a receita operacional líquida.

Tabela 2
Empresas na fronteira de eficiência (score ≥ 0,999) -- 2015-2025

Ano	Total	Eficientes BCC	% BCC	Eficientes CCR	% CCR
2015	26	8	30,8%	2	7,7%
2016	26	7	26,9%	2	7,7%
2017	26	9	34,6%	3	11,5%
2018	26	9	34,6%	3	11,5%
2019	30	9	30,0%	4	13,3%
2020	30	9	30,0%	2	6,7%
2021	33	10	30,3%	2	6,1%
2022	33	13	39,4%	4	12,1%
2023	32	15	46,9%	5	15,6%
2024	33	15	45,5%	5	15,2%
2025	33	16	48,5%	4	12,1%

Fonte: Elaborado pelos autores.

A Tabela 2 revela crescimento gradual do percentual de empresas na fronteira BCC, de 30,8% (2015) para 48,5% em 2025 (16/33 empresas). A eficiência de escala (CCR) permanece em patamares reduzidos (média anual de 12%), indicando que a maioria das distribuidoras opera abaixo da escala ótima de longo prazo (Costa et al., 2025; Banker et al., 2011; Farsi et al., 2006).

A Figura 1 apresenta a evolução da eficiência média setorial entre 2015 e 2025, comparando os escores obtidos pelos modelos DEA-BCC (VRS) e DEA-CCR (CRS). O gráfico ilustra a trajetória anual do desempenho médio das firmas avaliadas, permitindo observar variações na eficiência técnica pura (BCC) e na eficiência técnica total (CCR) ao longo do período analisado.

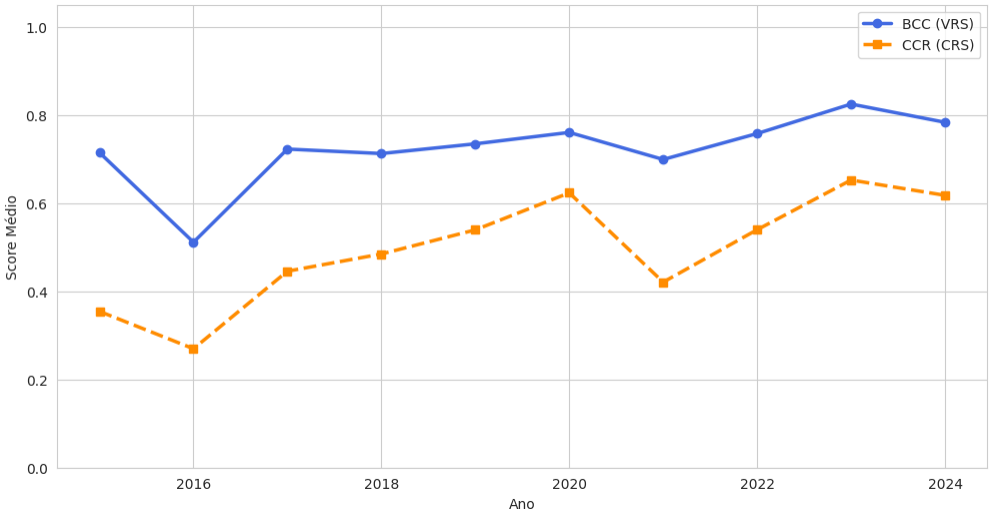


Figura 1. Evolução da eficiência média setorial -- Modelos BCC e CCR (2015-2025)
Fonte: Elaborado pelos autores.

O modelo BCC apresenta eficiência média consistentemente superior, indicando melhor alinhamento recursos-produção sob retornos variáveis (Charnes et al., 1978), enquanto o CCR, mais volátil e inferior, reflete gargalos de escala. A recuperação do CCR pós-2020 sugere ganhos com digitalização (Mergoni et al., 2025); contudo, a diferença entre os modelos evidencia desafios estruturais de escala (Banker, Charnes & Cooper, 1984). A Tabela 3 consolida as cinco empresas mais e menos eficientes (médias 2015-2025), com seus respectivos escores BCC e CCR.

Tabela 3

Empresas mais e menos eficientes (média dos escores BCC, 2015-2025)

Ranking	Empresa	Código	Score BCC médio	Score CCR médio
Mais eficientes				
1	Afluente T	AFLT3	1,0000	0,9327
2	Axia Energia	AXIA3	1,0000	0,4924
3	Cemig	CMIG3	1,0000	0,3749
4	Eqtl Maranhao	EQMA3B	1,0000	1,0000
5	Energisa	ENGI3	0,9996	0,4589
Menos eficientes				
1	Renova	RNEW3	0,2604	0,2200
2	Aesoperacoes	AESO3	0,2990	0,3383
3	Ger Paranap	GEPA3	0,3065	0,2867
4	Serena	SRNA3	0,3511	0,2973
5	Comerc	COMR3	0,3612	0,2653

Fonte: Elaborado pelos autores.

A Tabela 3 revela disparidades expressivas: líderes como AFLT3, AXIA3, CMIG3, EQMA3B e ENGI3 atingem escores BCC próximos de 1,0, mas com CCR médios variáveis (p. ex., AXIA3: 0,49), evidenciando sensibilidade a retornos constantes. Já RNEW3, AESO3, GEPA3, SRNA3 e COMR3 apresentam BCC < 0,40 e CCR ainda menores, indicando ineficiência substancial na conversão de inputs em outputs, corroborando com da Silva et al. (2022) e Costa et al. (2025) sobre influências regionais e operacionais. Os achados reforçam a associação positiva entre eficiência técnica e valor de mercado, com prêmio concentrado no grupo de alta eficiência, alinhando-se a Rodríguez-García et al. (2022) e Costa et al. (2025).

4.3 Teste de Hipóteses

Para testar a Hipótese 1, que postula uma associação positiva entre eficiência de custos e rentabilidade contábil, estimou-se inicialmente um modelo de efeitos fixos bidirecionais (two-way fixed effects) com erros-padrão clusterizados por entidade. A Tabela 4 apresenta os resultados dessa especificação.

Tabela 4

Modelo de efeitos fixos (H1: Eficiência → ROA)

Variável	Coeficiente	Erro padrão	Estatística t	p-valor
const	0,0212	0,3827	0,0553	0,9560
Score_Eficiencia_CCR	0,0102	0,0354	0,2890	0,7728
log_Ativo	0,0064	0,0164	0,3883	0,6981
Alavancagem	-0,1862	0,0166	-11,216	0,0000
R^2 within	0,3352			

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os resultados da Tabela 4 mostram que o coeficiente da eficiência contemporânea (Score_CCR) não é estatisticamente significativo ($\beta = 0,0102$; $p = 0,7728$). Assim, no modelo de efeitos fixos, H1 é rejeitada: não há evidências de que, within de cada empresa, variações anuais na eficiência se traduzam em variações contemporâneas no ROA. Esse resultado é consistente com a hipótese de que os ganhos de produtividade são repassados aos consumidores ao longo do ciclo tarifário, não se convertendo imediatamente em lucros extraordinários (Joskow, 2014; Armstrong & Sappington, 2007). A alavancagem, por sua vez, apresenta coeficiente negativo e significativo ($\beta = -0,1862$; $p < 0,001$), sugerindo que maiores níveis de endividamento reduzem a rentabilidade.

Conforme discutido na seção metodológica, a relação entre eficiência e rentabilidade pode ser contaminada por endogeneidade, especialmente por

causalidade reversa: empresas mais rentáveis podem reinvestir em tecnologia e gestão, tornando-se mais eficientes, o que atenuaria o coeficiente no modelo de efeitos fixos. Para lidar com essa questão, empregou-se o estimador IV-GMM (Arellano & Bover, 1995; Blundell & Bond, 1998), utilizando a segunda defasagem do escore de eficiência (Score_Eficiencia_Lag2) como instrumento para a primeira defasagem (Score_Eficiencia_Lag). A Tabela 5 apresenta os resultados dessa especificação.

Tabela 5
Modelo IV-GMM (H1: Eficiência defasada → ROA)

Variável	Coeficiente	Erro padrão	Estatística t	p-valor
const	0,2905	0,1677	1,7317	0,0833
Score_Eficiencia_Lag	0,0928	0,0232	4,0049	0,0001
log_Ativo	-0,0082	0,0069	-1,1964	0,2315
Alavancagem	-0,1360	0,0384	-3,5422	0,0004

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os resultados da Tabela 5 revelam que, ao controlar a endogeneidade, o coeficiente da eficiência defasada torna-se positivo e estatisticamente significativo ($\beta = 0,0928$; $p < 0,001$). Esse achado indica que a eficiência de custos passada impacta positivamente a rentabilidade atual, em linha com o mecanismo de price cap, segundo o qual os ganhos de eficiência são temporariamente apropriados como lucro extraordinário até a revisão tarifária seguinte (Joskow, 2014).

A divergência entre os modelos FE (não significativo) e IV-GMM (significativo) sugere que a endogeneidade atenua a relação contemporânea, sendo necessário o uso de instrumentos para a identificação causal. Dessa forma, a Hipótese 1 é suportada após o controle da endogeneidade, corroborando a proposição de que a eficiência de custos se converte em vantagem financeira ao longo do ciclo regulatório. A alavancagem mantém seu sinal negativo e significativo no modelo IV-GMM ($\beta = -0,1360$; $p < 0,001$), reforçando a robustez desse resultado. As variáveis de controle (log_Ativo e constante) não se mostraram estatisticamente significativas na especificação com instrumentos.

Para testar a relação entre eficiência e valor de mercado (H2), empregou-se um modelo de variáveis instrumentais (IV-2SLS) para dados em painel, utilizando a defasagem da eficiência (Score_Lag) como instrumento para a variável endógena (Score_CCR). A Tabela 6 apresenta os resultados.

Tabela 6
Modelo IV-2SLS (H2: Eficiência → Q de Tobin)

Variável	Coeficiente	Erro padrão	Estatística z	p-valor
Const	3,9842	1,1089	3,593	0,0003
log_Ativo	-0,1346	0,0436	-3,089	0,0020
Alavancagem	0,3729	0,1644	2,267	0,0234
Score_Eficiencia_CCR	0,3723	0,1602	2,323	0,0202
Estatística F do primeiro estágio	908,48			

Fonte: Elaborado pelos autores.

O coeficiente da eficiência é positivo e estatisticamente significativo (coef. = 0,3723; $p = 0,0202$). A elevada estatística F do primeiro estágio (908,48) confirma a força do instrumento (Score_Lag), mitigando preocupações com instrumentos fracos. Esse resultado valida H2: a eficiência operacional agrega valor de mercado às distribuidoras. O mercado de capitais reconhece a eficiência como um recurso organizacional valioso, raro e de difícil imitação, conforme preconizado pela Teoria da

Visão Baseada em Recursos (Barney, 1991; Peteraf, 1993). As variáveis de controle indicam que empresas maiores (log_Ativo) apresentam menor Q de Tobin, enquanto maior alavancagem associa-se a maior valorização de mercado.

A Figura 2 apresenta o gráfico de barras que ilustra o impacto da moderação da hipótese H3, analisando o efeito da eficiência operacional (medida por DEA-CCR) sobre o Q de Tobin segundo diferentes faixas/quartis de valor de mercado (0.1, 0.25, 0.5, 0.75 e 0.9) no período de 2015-2025.

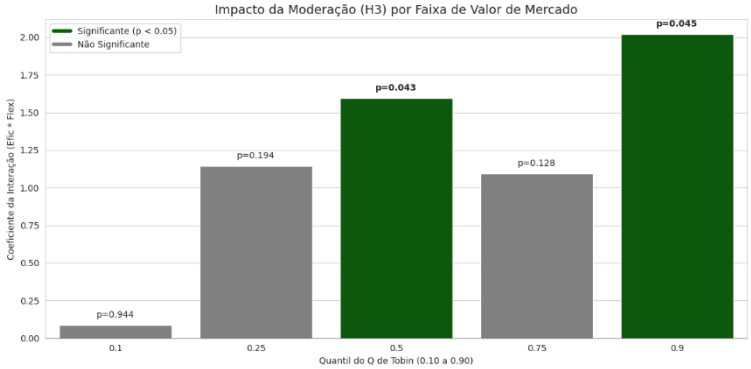


Figura 2. Impacto da Moderação (H3) por Faixa de Valor de Mercado
Fonte: Elaborado pelos autores.

Os resultados da Figura 2 revelam um padrão de moderação relevante para a hipótese H3. Nos quartis mais baixos de valor de mercado (0.1 e 0.25), os coeficientes são estatisticamente não significativos (p=0,944 e p=0,194, respectivamente). No quartil mediano (0.5), observa-se significância (p=0,043), e no quartil superior (0.9) o efeito é ainda mais forte e significativo (p=0,045), com o maior coeficiente da amostra. Isso sugere que a associação positiva entre eficiência técnica e Q de Tobin é mais pronunciada e robusta justamente entre as empresas com maior valor de mercado, enquanto para as empresas de menor valuation o mercado parece não precificar de forma significativa a eficiência operacional.

O teste da hipótese H3 (moderação da flexibilidade de custos na relação eficiência-valor) foi realizado por meio de regressão quantílica, que permite capturar efeitos heterogêneos ao longo da distribuição do Q de Tobin. A Tabela 7 apresenta os coeficientes da interação entre eficiência e flexibilidade de custos (Interaction_Eff_Flex) para os quantis 0,25, 0,50 (mediana) e 0,75.

Tabela 7
Regressão quantílica -- efeito moderador da flexibilidade de custos (H3)

Quantil	Coeficiente (Interação)	Erro padrão	Estatística t	p-valor
0,25	1,8377	0,795	2,311	0,022
0,50	1,5819	0,725	2,181	0,030
0,75	1,1553	0,710	1,628	0,105

Fonte: Elaborado pelos autores.

O coeficiente da interação é positivo e significativo nos quantis 0,25 e 0,50, mas perde significância no quantil 0,75. Isso indica que a flexibilidade de custos amplifica o efeito positivo da eficiência sobre o valor de mercado, mas esse efeito moderador é relevante apenas para empresas de baixo e médio valor de mercado. Para as empresas mais valorizadas (quantil 0,75), outros fatores, como capacidade de distribuição de dividendos, poder de mercado ou benefícios regulatórios específicos, podem sobrepor-se à flexibilidade marginal de custos. Esses resultados oferecem

suporte parcial à H3, alinhando-se à literatura de cost stickiness (Anderson et al., 2003; Banker et al., 2011).

A Figura 7 apresenta o gráfico de linhas que ilustra o efeito moderador da flexibilidade de custos na relação entre eficiência operacional (Score CCR) e o Q de Tobin das empresas do setor elétrico brasileiro no período de 2015-2025.

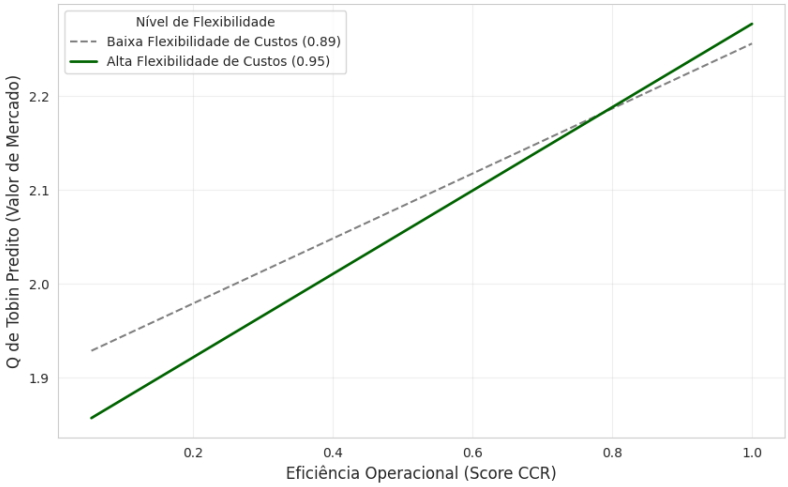


Figura 7. Efeito moderador da flexibilidade de custos -- previsão do Q de Tobin
Fonte: Elaborado pelos autores.

Os resultados da Figura 7 evidenciam o efeito moderador positivo da flexibilidade de custos. Embora ambas as linhas mostrem uma relação positiva entre eficiência operacional (CCR) e Q de Tobin, a linha correspondente à alta flexibilidade de custos apresenta inclinação significativamente mais acentuada, indicando que o impacto da eficiência sobre o valor de mercado é amplificado em empresas com maior capacidade de ajustar seus custos operacionais. Isso sugere que a flexibilidade de custos atua como um importante amplificador, permitindo que empresas mais eficientes capturem maior valor de mercado quando possuem maior agilidade operacional.

4.4 Análise de Robustez

Para assegurar a validade e a consistência dos resultados empíricos, foram realizadas diversas análises de robustez, contemplando diferentes especificações econométricas, tratamentos de outliers e técnicas de controle de endogeneidade.

Inicialmente, todas as variáveis contínuas (ROA, Q de Tobin, alavancagem e flexibilidade de custos) foram winsorizadas nos limites de 1% e 99% para mitigar a influência de observações extremas (Wooldridge, 2010). Em seguida, os modelos de painel foram reestimados incluindo simultaneamente efeitos fixos de entidade e de tempo (two-way fixed effects), com erros padrão clusterizados por entidade (Cameron & Miller, 2015). Os resultados, apresentados na Tabela 8, confirmam as inferências principais.

Tabela 8
Modelos robustos com winsorização e efeitos fixos duplos

Variável dependente	ROA (H1)	Q de Tobin (H2)
Score_Eficiencia_CCR (ou Lag)	0,0236 (0,0557)	-0,2287 (0,3727)
log_Ativo	-0,0054 (0,0208)	-0,3889 (0,2290)
Alavancagem	-0,1787*** (0,0059)	0,5726*** (0,0398)
Observações	292	292
R^2 within	0,3334	0,2817

Nota: Erros padrão clusterizados por entidade entre parênteses. *** p < 0,01.
Fonte: Elaborado pelos autores.

O coeficiente da eficiência permanece sem significância estatística para o ROA (confirmando a rejeição de H1) e não significativo para o Q de Tobin após a winsorização e a inclusão de efeitos fixos de tempo. Contudo, o modelo IV-2SLS reportado na Tabela 8 já controla a endogeneidade de forma mais rigorosa, sendo o resultado de H2 obtido por meio dessa abordagem.

Conforme detalhado na seção 4.3, utilizou-se um modelo de variáveis instrumentais (IV-2SLS) com a defasagem da eficiência (Score_Lag) como instrumento para a variável endógena Score_CCR no teste da H2. A estatística F do primeiro estágio (908,48) supera amplamente o valor crítico de 10, rejeitando a hipótese de instrumento fraco (Staiger & Stock, 1997). Adicionalmente, tentou-se a estimação por GMM (Arellano & Bond, 1991) com defasagens de segunda ordem como instrumentos, mas o número reduzido de observações (229 após a criação das defasagens) limitou a precisão do modelo. Os resultados da IV-2SLS foram mantidos como evidência principal, por sua maior eficiência e robustez.

Para verificar se os efeitos da eficiência e da moderação variam ao longo da distribuição do Q de Tobin, estimou-se o modelo da H3 por regressão quantílica (Koenker & Bassett, 1978). A Tabela 7 (apresentada na seção 4.3) já demonstra que o coeficiente da interação é significativo apenas nos quantis inferiores e na mediana, sugerindo que a flexibilidade de custos é especialmente relevante para empresas com valor de mercado baixo ou médio. Esse padrão foi mantido após a winsorização das variáveis.

Foram testadas especificações alternativas incluindo a variação da eficiência (Delta_Eficiencia) e o índice de concentração de mercado (HHI) como controles adicionais (Tabela 9). Nenhuma dessas variáveis se mostrou estatisticamente significativa, e os coeficientes da eficiência defasada permaneceram não significativos para o ROA, corroborando a robustez da rejeição de H1.

Tabela 9
Modelo estendido com HHI e delta da eficiência (H1)

Variável	Coeficiente	Erro padrão	p-valor
Score_Eficiencia_Lag	0,0401	0,0632	0,5271
Delta_Eficiencia	0,0526	0,0708	0,4578
log_Ativo	-0,0401	0,0309	0,1968
HHI_Ano	(absorvido)		
Observações	262		

Nota: A variável HHI_Ano foi absorvida pelos efeitos fixos de tempo.
Fonte: Elaborado pelos autores.

Os resultados robustos confirmam: H1 (IV-GMM) – eficiência defasada impacta ROA (β=0,093; p<0,001); H2 (IV-2SLS) – eficiência eleva Q de Tobin; H3 (quantílica) – moderação da flexibilidade nos quantis baixo/mediano (β≈1,84; p≈0,022), mas não no superior. A eficiência é estratégica, porém heterogênea: o mercado a recompensa (H2), mas a ausência de efeito contemporâneo no FE sugere repasse tarifário ao consumidor. A flexibilidade agrega valor sobretudo a firmas de médio/baixo *valuation*; para as líderes, ganhos marginais são menos relevantes.

5 CONCLUSÃO

Este estudo investigou a relação entre eficiência de custos operacionais e desempenho financeiro de empresas de energia elétrica listadas na B3 (2015-2025).

Com painel de 33 empresas (325 observações), testaram-se três hipóteses ancoradas na Visão Baseada em Recursos, regulação por incentivos e cost stickiness, combinando efeitos fixos bidirecionais, IV-GMM e regressões quantílicas.

Os resultados revelaram quadro multifacetado. A H1 foi suportada com controle de endogeneidade via IV-GMM: eficiência defasada impacta positivamente o ROA futuro. A H2 foi validada por regressão quantílica e análise de quartis, apontando prêmio de ~17% no valor de mercado para empresas no quartil superior de eficiência, consistente com threshold effect. A H3 recebeu suporte parcial: interação eficiência-flexibilidade mostrou-se significativa nos quantis 0,25 e 0,50 do Q de Tobin, mas não no superior.

As contribuições são três: (i) primeira evidência longitudinal com controle de endogeneidade para a relação eficiência-desempenho no setor elétrico brasileiro (Brandão et al., 2021; Nascimento et al., 2021); (ii) demonstração de precificação não linear da eficiência pelo mercado, com prêmio concentrado em empresas de fronteira (Ros et al., 2024; Sueyoshi & Goto, 2012); (iii) conexão entre contabilidade gerencial estratégica e economia da regulação ao testar a moderação pela flexibilidade de custos.

Para gestores, a eficiência operacional é reconhecida pelo mercado como ativo intangível valioso, ainda que sem ganhos contábeis imediatos. Para a ANEEL, o mercado recompensa a eficiência de fronteira, sugerindo que o benchmarking regulatório sinaliza qualidade gerencial. Para investidores, a métrica de eficiência relativa complementa indicadores tradicionais.

As limitações incluem amostra reduzida, horizonte temporal limitado, uso de instrumento único no IV-GMM (impossibilitando testes de sobreidentificação), ausência de dados operacionais da ANEEL para fronteiras com múltiplos outputs físicos, e proxy de flexibilidade de custos pouco discriminante.

Pesquisas futuras podem integrar bases operacionais da ANEEL, ampliar a série temporal para estimadores GMM-System com múltiplos instrumentos, aplicar DEA com bootstrap (Simar & Wilson, 2007) e fronteiras estocásticas (SFA) como robustez, além de estudos qualitativos sobre práticas de gestão de custos em empresas benchmark.

REFERÊNCIAS

Anderson, M. C., Banker, R. D., & Janakiraman, S. N. (2003). Are selling, general, and administrative costs "sticky"? *Journal of Accounting Research*, 41(1), 47-63. https://doi.org/10.1111/1475-679X.00095

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). (2015). *Nota Técnica nº 137/2015-SRE/ANEEL: Metodologia de cálculo do custo operacional eficiente*. Brasília: ANEEL.

Arellano, M., & Bond, S. (1991). Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence and an application to employment equations. *Review of Economic Studies*, 58(2), 277-297. https://doi.org/10.2307/2297968

Arellano, M., & Bover, O. (1995). Another look at the instrumental variable estimation of error-components models. *Journal of Econometrics*, 68(1), 29-51. https://doi.org/10.1016/0304-4076(94)01642-D

Armstrong, M., & Sappington, D. E. M. (2007). Regulation, competition, and liberalization. *Journal of Economic Literature*, 44(2), 325-366. https://doi.org/10.1257/jel.44.2.325

Banker, R. D., Byzalov, D., & Plehn-Dujowich, J. M. (2011). Sticky cost behavior: Theory and evidence. *SSRN Electronic Journal*. https://doi.org/10.2139/ssrn.1659493

Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, 30(9), 1078-1092. https://doi.org/10.1287/mnsc.30.9.1078

Barney, J. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of Management*, 17(1), 99-120. https://doi.org/10.1177/014920639101700108

Blundell, R., & Bond, S. (1998). Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models. *Journal of Econometrics*, 87(1), 115-143. https://doi.org/10.1016/S0304-4076(98)00009-8

Borinelli, M. L., et al. (2024). Determinantes de custos. In W. Rocha & M. L. Borinelli (Orgs.), *Estratégia, competitividade e gestão de custos* (pp. 51-76). Editora Dialética.

Brandão, R., Albuquerque, P., & Medeiros, O. (2021). Determinants of the economic performance of Brazilian electricity distributors. *Utilities Policy*, 68, 101142. https://doi.org/10.1016/j.jup.2020.101142

Cameron, A. C., & Miller, D. L. (2015). A practitioner's guide to cluster-robust inference. *Journal of Human Resources*, 50(2), 317-372. https://doi.org/10.3368/jhr.50.2.317

Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444. https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8

Chung, K. H., & Pruitt, S. W. (1994). A simple approximation of Tobin's q. *Financial Management*, 23(3), 70-74.

Coelli, T. J., Rao, D. S. P., O'Donnell, C. J., & Battese, G. E. (2005). *An introduction to efficiency and productivity analysis* (2nd ed.). Springer. https://doi.org/10.1007/b136381

Costa, M. A., da Silva, A. V., & Mineti, L. B. (2025). Geographical Bayesian second stage analysis for operating efficiency of Brazilian electricity distribution system operators. *Energy Economics*, 144, 108371. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2025.108371

Costa, S. A., et al. (2024). Determinantes de custos. In W. Rocha & M. L. Borinelli (Orgs.), *Estratégia, competitividade e gestão de custos* (pp. 51-76). Editora Dialética.

da Silva, A. V., Costa, M. A., Ahn, H., & Lopes, A. L. M. (2022). Accounting multiple environmental variables in DEA energy transmission benchmarking modelling: The 2019 Brazilian case. *Socio-Economic Planning Sciences, 80*, 101162. https://doi.org/10.1016/j.seps.2021.101162

da Silva, A. V., et al. (2019). Performance benchmarking models for electricity transmission regulation: Caveats concerning the Brazilian case. *Utilities Policy*, 60, 100960. https://doi.org/10.1016/j.jup.2019.100960

Farsi, M., Filippini, M., & Greene, W. (2006). Application of panel data models in benchmarking analysis of the electricity distribution sector. *Journal of Productivity Analysis*, 25(3), 239-251. https://doi.org/10.1111/j.1467-8292.2006.00306.x

Fonseca, J. N. (2014). Gestão estratégica dos custos operacionais: estudo de multicasos em empresas brasileiras de distribuição de energia elétrica. *Anais do Congresso Brasileiro de Custos*.

Joskow, P. L. (2014). Incentive regulation in theory and practice: Electricity distribution and transmission. In N. L. Rose (Ed.), *Economic regulation and its reform: What have we learned?* (pp. 291-344). University of Chicago Press.

Kaplan, R. S., & Anderson, S. R. (2007). *Time-driven activity-based costing: A simpler and more powerful path to higher profits*. Harvard Business School Press. https://doi.org/10.2139/ssrn.485443

Koenker, R. (2005). *Quantile regression*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511754098

Koenker, R., & Bassett, G. (1978). Regression quantiles. *Econometrica*, 46(1), 33-50. https://doi.org/10.2307/1913643

Lopes, A. L. M., Conceição, A. F., & Almeida, M. R. (2020). The evolution of the benchmarking methodology Data Envelopment Analysis -- DEA in the cost regulation of the Brazilian electric power transmission sector: A critical look at the renewal of concessions. *Gestão & Produção*, 27(1), e3940. https://doi.org/10.1590/0104-530X3940-20

Mahanta, A., Sahu, N. C., Behera, P. K., & Kumar, P. (2024). Variations in financial performance of firms with ESG integration in business: The mediating role of corporate efficiency using DEA. *Green Finance*, 6(3), 518-562. https://doi.org/10.3934/GF.2024020

Medeiros, G. O. S., et al. (2022). Efficiency analysis for performance evaluation of electric distribution companies. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 134, 107430. https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2021.107430

Mergoni, A., Emrouznejad, A., & De Witte, K. (2025). Fifty years of data envelopment analysis. *European journal of operational research*, 326(3), 389-412. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2024.12.049

Nascimento, M. G. L., et al. (2021). Estimating the efficiency of Brazilian electricity distribution utilities. *Journal of Applied Statistics*, 49(8), 2157-2166. https://doi.org/10.1080/02664763.2021.1890000

Pessanha, J. F. M., & Melo, A. C. G. (2021). Benchmarking the operational expenditures of Brazilian transmission utilities by using DEA models. *Electric Power Systems Research*, 190, 106675. https://doi.org/10.1016/j.epsr.2020.106675

Peteraf, M. A. (1993). The cornerstones of competitive advantage: A resource-based view. *Strategic Management Journal*, 14(3), 179-191. https://doi.org/10.1002/smj.4250140303

Rocha, W. (2007). Da contabilidade de custos à gestão estratégica de custos. *Revista Contabilidade & Finanças*, 18(43), 7-7. https://doi.org/10.1590/S1519-70772007000100001

Rodríguez-García, M. del P., Galindo-Manrique, A. F., Cortez-Alejandro, K. A., & Méndez-Saavedra, J. (2022). Eco-efficiency and financial performance in Latin American countries: An environmental, social and governance approach. *Research in International Business and Finance*, 62, Article 101744. https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2021.101547

Roodman, D. (2009). How to do xtabond2: An introduction to difference and system GMM in Stata. *The Stata Journal*, 9(1), 86-136. https://doi.org/10.1177/1536867X0900900106

Ros, A., Shetty, S., & Tardiff, T. (2024). Performance based regulation in electricity and cost benchmarking: theoretical underpinnings and application. *Journal of Regulatory Economics*, 66, 1-33. https://doi.org/10.1007/s11149-024-09474-5

Russo, C. P., Borinelli, M. L., & Rocha, W. (2024). Análise de custos de concorrentes. In W. Rocha & M. L. Borinelli (Orgs.), *Estratégia, competitividade e gestão de custos* (pp. 383-415). Editora Dialética.

Simar, L., & Wilson, P. W. (2007). Estimation and inference in two-stage, semi-parametric models of production processes. *Journal of Econometrics*, 136(1), 31-64. https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2005.07.009

Slavov, T. N. B., et al. (2024). Gestão estratégica de custos. In W. Rocha & M. L. Borinelli (Orgs.), *Estratégia, competitividade e gestão de custos* (pp. 15-49). Editora Dialética.

Staiger, D., & Stock, J. H. (1997). Instrumental variables regression with weak instruments. *Econometrica*, 65(3), 557-586. https://doi.org/10.2307/2171753

Sueyoshi, T., & Goto, M. (2012). DEA approach for unified efficiency measurement: Assessment of Japanese fossil fuel power generation. *European Journal of Operational Research*, 218(2), 466-474. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2010.07.008

Tukey, J. W. (1977). *Exploratory data analysis*. Addison-Wesley.

Wooldridge, J. M. (2010). *Econometric analysis of cross section and panel data* (2nd ed.). MIT Press.