UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA - POSGRAP
MESTRADO PROFISSIONAL EM ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA EM REDE NACIONAL - PROFIAP

ISABELLA SANT' ANNA OLIVEIRA

EFICIÊNCIA TÉCNICA EM CONCESSIONÁRIAS ESTADUAIS DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL: UMA ANÁLISE COMPARATIVA COM APLICAÇÃO À SERGIPE GÁS S.A.

SÃO CRISTÓVÃO-SE
2026

ISABELLA SANT' ANNA OLIVEIRA

EFICIÊNCIA TÉCNICA EM CONCESSIONÁRIAS ESTADUAIS DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL: UMA ANÁLISE COMPARATIVA COM APLICAÇÃO À SERGIPE GÁS S.A.

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Administração Pública em Rede Nacional – PROFIAP – realizado na Universidade Federal de Sergipe.

Orientadores:
Prof. Dr. Abimael Magno do Ouro Filho

Prof. Dr. Antônio Vinícius Silva Caldas

SÃO CRISTÓVÃO-SE
2026

FICHA CATALOGRÁFICA

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

O48e

Oliveira, Isabella Sant'Anna
Eficiência técnica em concessionárias estaduais de distribuição de gás natural : uma análise comparativa com aplicação à Sergipe Gás S.A. / Isabella Sant'Anna Oliveira ; orientador Abimael Magno de Ouro Filho. – São Cristóvão, SE, 2026.
139 p. : il.

Dissertação (mestrado profissional em Administração Pública em Rede Nacional) – Universidade Federal de Sergipe, 2026.

1. Administração pública. 2. Gás - Distribuição. 3. Governança corporativa. 4. Eficiência. 5. Benchmarking. (Gestão). 6. Gás natural. 7. Sergipe Gás S.A. I. Ouro Filho, Abimael Magno, orient. II. Título.

CDU 35.08:620.91(813.7)

ATA DA DEFESA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
MESTRADO PROFISSIONAL EM ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA

ATA DA DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO FINAL

Aos dez dias do mês de setembro de dois mil e vinte e seis, às 9h30m, foi realizada através de apresentação on-line via RNP a Banca de Defesa da Dissertação de Mestrado Profissional da discente **Isabella Sant'Anna Oliveira, Matrícula: 202411009653** com o título do trabalho de conclusão final: **EFICIÊNCIA TÉCNICA EM CONCESSIONÁRIAS ESTADUAIS DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL: UMA ANÁLISE COMPARATIVA COM APLICAÇÃO À SERGIPE GÁS S.A.** A banca foi composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. Abimael Magno do Ouro Filho (Presidente/Orientador - PROFIAP/UFS), Prof. Dr. Antonio Vinicius Silva Caldas (Coorientador - PROFIAP/UFS), Prof. Dr. Anderson Henrique dos Santos Araújo (PROFIAP/UFAL) e o Prof. Dr. Fabio Rodrigues de Moura (PPGE/UFS). Após a apresentação, foi passada a palavra à banca que arguiu a discente e a mesma respondeu aos questionamentos. O presidente e orientador fez as considerações e em seguida a banca examinadora deliberou pela **APROVAÇÃO**.

Cidade Universitária Prof. José Aloísio de Campos, São Cristóvão - SE, 10 de setembro de 2026

Documento assinado digitalmente
gov.br ABIMAEL MAGNO DO OURO FILHO
Data: 17/09/2026 08:33:41-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Abimael Magno do Ouro Filho
(Presidente/Orientador - PROFIAP/UFS)

Documento assinado digitalmente
gov.br ANTONIO VINICIUS SILVA CALDAS
Data: 10/09/2026 13:38:18-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Antônio Vinicius Silva Caldas
(Coorientador - PROFIAP/UFS)

Documento assinado digitalmente
gov.br ANDERSON HENRIQUE DOS SANTOS ARAUJO
Data: 17/09/2026 08:19:05-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Anderson Henrique dos Santos Araújo
(PROFIAP/UFAL)

Documento assinado digitalmente
gov.br FABIO RODRIGUES DE MOURA
Data: 10/09/2026 16:59:52-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Fabio Rodrigues de Moura
(PPGE/UFS)

Documento assinado digitalmente
gov.br ISABELLA SANT ANNA OLIVEIRA
Data: 17/09/2026 08:41:28-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Isabella Sant'Anna Oliveira
(Discente/PROFIAP/UFS)

RESUMO

Objetivo: Avaliar a eficiência técnica operacional da Sergipe Gás S.A. (SERGAS), a capacidade de converter insumos operacionais e de capital em produtos da distribuição de gás natural, em *benchmark* comparativo com as demais concessionárias estaduais, traduzindo os resultados em instrumento gerencial de monitoramento recorrente com potencial de apoio à governança corporativa da concessionária, no contexto do novo marco regulatório (Nova Lei do Gás). **Metodologia:** A pesquisa adota abordagem quantitativa, com a SERGAS como foco de aplicação de uma análise comparativa. O método é a Análise Envoltória de Dados (DEA), no modelo radial BCC, orientado a insumo, com retornos variáveis de escala (VRS). O recorte compreende 11 concessionárias estaduais no período de 2020 a 2024, tratadas como um painel empilhado de 55 observações distribuidora-ano, com as despesas operacionais (OPEX) e os investimentos (CAPEX) deflacionados para preços constantes de 2024 pelo IPCA. A análise é complementada por uma abordagem em dois estágios, utilizando a regressão truncada com *bootstrap* de Simar e Wilson (2007) para investigar os determinantes contextuais (econômicos, geográficos e de mercado) associados aos escores de eficiência. A pesquisa insere-se na Linha de Pesquisa "Tecnologia, Inovação e Gestão Pública" do PROFIAP, ao empregar ferramentas analíticas quantitativas (DEA e regressão truncada com bootstrap) como instrumentos de apoio à avaliação de desempenho e à tomada de decisão em uma organização pública. De caráter aplicado, o estudo mensura a eficiência técnica da SERGAS e seus determinantes, gerando subsídios para a racionalização do gasto público e o *benchmarking* regulatório do setor. **Principais resultados:** Uma vez corrigidos os valores pela inflação do período, a SERGAS posiciona-se junto à fronteira de eficiência, com o maior escore médio no painel analisado das 11 concessionárias avaliadas, com o maior escore médio (0,992, em escala de 0 a 1, na qual 1 representa a fronteira das melhores práticas do setor). Sem essa correção, a companhia aparece em segundo lugar; é o ajuste inflacionário, que torna comparáveis os valores de anos diferentes, que a conduz ao topo. O resultado mostrou-se consistente: ao refazer a análise retirando, uma a uma, cada concorrente, a SERGAS permaneceu na primeira posição em todos os casos. A investigação sobre as causas dessa eficiência, se estaria ligada à riqueza do estado, à densidade populacional ou ao volume de gás distribuído, não encontrou relação estatística consistente quando respeitada a estrutura de painel dos dados, indicando que os fatores associados ao desempenho da companhia permanecem em aberto. A análise das folgas revelou dois perfis de ineficiência entre as distribuidoras: as que empregam mais recursos do que o necessário e as

que atendem menos consumidores do que a infraestrutura permitiria; a SERGAS, por sua vez, apresentou uso equilibrado dos recursos em praticamente todas as dimensões. **Contribuições:** Teoricamente, o estudo aprofunda a aplicação da teoria da Yardstick Competition a monopólios naturais regulados. Metodologicamente, oferece atualização temporal para o período pós-Nova Lei do Gás (2020-2024), adota um recorte institucional homogêneo, concessionárias com participação acionária estadual e valida um conjunto de variáveis de insumo (OPEX, CAPEX, rede) e de produto (número de consumidores) adequado à realidade brasileira, com o volume de gás distribuído tratado como variável contextual na segunda etapa. Para a gestão, entrega o Painel de Indicadores de Eficiência, instrumento recorrente de monitoramento comparado, voltado ao apoio à avaliação de desempenho, ao planejamento de investimentos e à governança corporativa da concessionária. Socialmente, contribui para a transparência na prestação de um serviço público essencial, favorecendo indiretamente a modicidade tarifária e a sustentabilidade da infraestrutura energética no estado de Sergipe.

Palavras-chave: Eficiência técnica. Análise Envoltória de Dados. Distribuição de gás natural. Benchmarking regulatório. Governança corporativa.

ABSTRACT

Objective: To assess the operational technical efficiency of Sergipe Gás S.A. (SERGAS), its ability to convert operational and capital inputs into outputs associated with natural gas distribution, through a comparative benchmark against the other state-owned distribution utilities, translating the results into a recurring managerial performance-monitoring instrument with the potential to support the utility's corporate governance, in the context of the new regulatory framework (the New Gas Law). **Methodology:** The study adopts a quantitative approach, with SERGAS as the application focus of a comparative analysis. The method is Data Envelopment Analysis (DEA), using the radial BCC model, input-oriented, under variable returns to scale (VRS). The scope comprises 11 state-owned distribution utilities over the 2020–2024 period, treated as a pooled panel of 55 utility-year observations, with operating expenditures (OPEX) and investments (CAPEX) deflated to constant 2024 prices using the IPCA index. The analysis is complemented by a two-stage approach, employing the truncated regression with bootstrap of Simar and Wilson (2007) to investigate the contextual determinants (economic, geographic, and market-related) associated with the efficiency scores. The research is situated within the "Technology, Innovation, and Public Management" research line of PROFIAP, employing quantitative analytical tools (DEA and truncated regression with bootstrap) as instruments to support performance assessment and decision-making in a public organization. Of an applied nature, the study measures the technical efficiency of SERGAS and its determinants, generating inputs for the rationalization of public spending and the regulatory benchmarking of the sector. **Main results:** Once values are adjusted for inflation over the period, SERGAS ranks among the most efficient of the 11 utilities assessed, with the highest average score (0.992, on a 0-to-1 scale, where 1 represents the frontier of best practices in the sector). Without this correction, the company ranks second; it is the inflation adjustment, which makes values from different years comparable, that leads it to the top. The result proved consistent: when the analysis was re-run by removing each competitor one at a time, SERGAS remained in first position in all cases. The investigation into the causes of this efficiency, whether related to the state's wealth, population density, or the volume of gas distributed, found no consistent statistical association once the panel structure of the data was accounted for, indicating that the factors associated with the company's performance remain open. The slack analysis revealed two profiles of inefficiency among the utilities: those employing more resources than necessary and those serving fewer consumers than their infrastructure would

allow; SERGAS, in turn, showed balanced resource use across virtually all dimensions. **Contributions:** Theoretically, the study deepens the application of Yardstick Competition theory to regulated natural monopolies. Methodologically, it provides a temporal update for the post-New Gas Law period (2020–2024), adopts a homogeneous institutional scope, utilities with state government equity participation, and validates a set of input variables (OPEX, CAPEX, network extension) and an output variable (number of consumers) suited to the Brazilian context, with the volume of distributed gas treated as a contextual variable in the second stage. For management, it delivers the Efficiency Indicators Dashboard, a recurring instrument for comparative performance monitoring, aimed at supporting performance assessment, investment planning, and the corporate governance of the utility. Socially, it contributes to transparency in the provision of an essential public service, indirectly favoring tariff affordability and the sustainability of energy infrastructure in the state of Sergipe.

Keywords: Technical efficiency. Data Envelopment Analysis. Natural gas distribution. Regulatory benchmarking. Corporate governance.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Principais desafios à eficiência na distribuição de gás natural 37

Quadro 2 – Modelo conceitual: articulação entre teoria, variáveis e decisões metodológicas 46

Quadro 3 – Concessionárias estaduais analisadas 53

Quadro 4 – Insumos (inputs) e produtos (outputs) utilizados no modelo DEA para distribuidoras de gás natural 66

Quadro 5 – Variáveis contextuais utilizadas na segunda etapa 70

Quadro 6 – Dicionário de variáveis 129

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Deflatores anuais do IPCA aplicados a OPEX e CAPEX (base: preços de 2024) . 78

Tabela 2 – Estatísticas descritivas das variáveis (preços constantes de 2024) 78

Tabela 3 – Ranking de eficiência técnica agregado por distribuidora (preços constantes de 2024) 80

Tabela 4 – Coeficientes da regressão truncada de Simar-Wilson e inferência por quatro vias 82

Tabela 5 – Índice de Malmquist: decomposição da produtividade (2020–2024)..... 84

Tabela 6 – Sensibilidade da posição da SERGAS ao tratamento do CAPEX..... 85

Tabela 7 – Folgas médias por dimensão e escore de eficiência, por distribuidora (2020–2024) 86

Tabela 8 – Matriz de dados das 55 observações distribuidora-ano (2020–2024) 127

Tabela 9 – Escores de eficiência técnica (BCC) por distribuidora e ano (2020–2024)..... 130

Tabela 10 – Escores médios de eficiência técnica sob retornos variáveis (BCC) e constantes (CCR) de escala e eficiência de escala (2020–2024) 138

Tabela 11 – Escore médio de eficiência (posição) conforme a especificação do produto (2020–2024) 139

Tabela 12 – Correlação de Spearman entre o escore de eficiência (BCC) e as variáveis do painel (55 observações) 139

Tabela 13 – Matriz de correlação de Pearson entre insumos e produto (55 observações) 139

Tabela 14 – Escore médio de eficiência com e sem correção de viés (2020–2024) 140

Tabela 15 – Coeficientes da regressão truncada de Simar-Wilson com e sem o ano de 2024 140

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGRESE	Agência Reguladora de Serviços Públicos do Estado de Sergipe
ALGÁS	Gás de Alagoas S.A.
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
BAHIAGÁS	Companhia de Gás da Bahia
BCC	Banker, Charnes e Cooper (modelo DEA de retornos variáveis de escala)
CAPEX	Capital Expenditure (investimentos)
CCR	Charnes, Cooper e Rhodes (modelo DEA de retornos constantes de escala)
CEGÁS	Companhia de Gás do Ceará
CEP	Comitê de Ética em Pesquisa
CIGÁS	Companhia de Gás do Amazonas
CONEP	Comissão Nacional de Ética em Pesquisa
COPERGÁS	Companhia Pernambucana de Gás
CR2	Cluster-Robust correction (correção de pequena amostra)
DEA	Data Envelopment Analysis (Análise Envoltória de Dados)
DMU	Decision Making Unit (unidade tomadora de decisão)
GASMIG	Companhia de Gás de Minas Gerais
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCA	Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo
IPM	Índice de Produtividade de Malmquist
MSGÁS	Companhia de Gás do Mato Grosso do Sul
OPEX	Operational Expenditure (despesas operacionais)
PBGÁS	Companhia de Gás da Paraíba
PIB	Produto Interno Bruto
POTIGÁS	Companhia Potiguar de Gás

PTT	Produto Técnico-Tecnológico
SCGÁS	Companhia de Gás de Santa Catarina
SERGAS	Sergipe Gás S.A.
SIDRA	Sistema IBGE de Recuperação Automática
VRS	Variable Returns to Scale (retornos variáveis de escala)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 14
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E PROBLEMATIZAÇÃO 17
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA 19
1.3 OBJETIVOS 19
1.3.1 Objetivo geral 19
1.3.2 Objetivos específicos 20
1.4 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA 20
1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO 23
2 REFERENCIAL TEÓRICO 24
2.1 A INFRAESTRUTURA COMO POLÍTICA PÚBLICA: O DESENVOLVIMENTO NACIONAL COM EFICIÊNCIA 24
2.2 O SETOR DE GÁS NATURAL NO BRASIL: CONTEXTO E MARCO REGULATÓRIO 27
2.3 MONOPÓLIOS NATURAIS, CADEIA DO GÁS NATURAL E O PAPEL DA REGULAÇÃO PÚBLICA 30
2.4 OS DESAFIOS DE EFICIÊNCIA NA PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS DE INFRAESTRUTURA PÚBLICA 32
2.5 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO NO SETOR PÚBLICO: NECESSIDADES E INSTRUMENTOS 37
2.6 SÍNTESE INTEGRADORA: DO REFERENCIAL À OPERACIONALIZAÇÃO EMPÍRICA 43
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS 47
3.1 NATUREZA DA PESQUISA 47
3.2 ABORDAGEM METODOLÓGICA 48
3.3 ESTRATÉGIA DE PESQUISA 48
3.4 DELIMITAÇÃO DO CAMPO E UNIDADES DE ANÁLISE 49
3.5 INSTRUMENTOS DE COLETA 52
3.6 TÉCNICAS DE ANÁLISE 52
3.6.1 Estatística descritiva 53
3.6.2 Mensuração da eficiência técnica por meio da DEA 54
3.6.3 Especificação do modelo DEA 55
3.6.4 Seleção das variáveis da primeira etapa 57
3.6.5 Regressão truncada com bootstrap (Simar e Wilson) 65

3.6.6 Análises de robustez 69
3.6.7 Softwares utilizados 72
3.7 ASPECTOS ÉTICOS 73
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 74
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA BASE E TRATAMENTO DOS DADOS 74
4.2 EFICIÊNCIA TÉCNICA: A POSIÇÃO DA SERGAS NA FRONTEIRA DO SETOR 76
4.3 A SEGUNDA ETAPA: FATORES CONTEXTUAIS E EFICIÊNCIA 78
4.4 ROBUSTEZ DO POSICIONAMENTO 80
4.4.1 Sensibilidade à composição do painel (leave-one-out) 80
4.4.2 Mudança técnica ao longo do período (índice de Malmquist) 80
4.4.3 Tratamento do investimento (CAPEX) 81
4.5 ONDE RESIDE A INEFICIÊNCIA: LEITURA DAS FOLGAS 82
4.6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS À LUZ DO REFERENCIAL TEÓRICO 84
4.6.1 A posição da SERGAS e a lógica da competição por comparação 84
4.6.2 O resultado inconclusivo da segunda etapa e o debate metodológico 85
4.6.3 A leitura das folgas e a questão dos insumos 86
4.6.4 Implicações para a governança e o desafio do uso 87
4.7 SÍNTESE E IMPLICAÇÕES PARA A GESTÃO 88
5 PRODUTO TÉCNICO-TECNOLÓGICO 89
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS 91
REFERÊNCIAS 95
APÊNDICE A – PRODUTO TÉCNICO-TECNOLÓGICO 108
APÊNDICE B – MATRIZ DE DADOS (55 OBSERVAÇÕES DISTRIBUIDORA-ANO) 125
APÊNDICE C – DICIONÁRIO DE VARIÁVEIS 127
APÊNDICE D – ESCORES DE EFICIÊNCIA POR DISTRIBUIDORA E ANO 128
APÊNDICE E – SCRIPT DE ANÁLISE (R) 129
APÊNDICE F – ANÁLISES DE SENSIBILIDADE 137
APÊNDICE G – DECLARAÇÃO DE USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL 139

1 INTRODUÇÃO

A expansão da infraestrutura energética no Brasil constitui condição essencial para o desenvolvimento socioeconômico sustentável e, nesse contexto, o gás natural tem ocupado posição estratégica na matriz energética nacional (IPEA, 2023). Em razão de sua menor emissividade relativa, esse energético desempenha papel relevante como combustível de transição, contribuindo para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa ao substituir fontes mais intensivas em carbono, como o carvão mineral e os derivados de petróleo, além de impulsionar a eficiência ambiental da matriz de distribuição nacional (Cardoso et al., 2023).

Para que o potencial energético do gás natural se converta em benefícios econômicos e ambientais, é necessária uma infraestrutura capaz de assegurar seu fornecimento de forma eficiente, segura e contínua (Santos; Lopes, 2021). A cadeia do gás natural compreende as etapas de exploração, processamento, transporte e distribuição (Yusuf; Al-Ansari, 2023). Esta última constitui a etapa de conexão com os consumidores e, no Brasil, configura-se como serviço público de titularidade dos Estados, conforme o art. 25, § 2º, da Constituição Federal de 1988. Nesse contexto, a distribuição assume particular relevância por envolver desafios relacionados à expansão da infraestrutura, à regulação e à governança do serviço público, conforme informações da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2024).

No âmbito das políticas públicas energéticas, a infraestrutura de gás natural passou a assumir papel estratégico nas últimas décadas, especialmente no contexto da segurança energética e da diversificação da matriz nacional, em consonância com as diretrizes formuladas no planejamento energético brasileiro (MME, 2020; EPE, 2020). Esse posicionamento foi reforçado com a promulgação da Lei nº 14.134/2021, conhecida como Nova Lei do Gás, que instituiu um novo marco regulatório com o objetivo de ampliar o acesso ao insumo, fomentar a concorrência e estimular a eficiência das empresas distribuidoras (Morais, 2021). Entretanto, a concretização desses objetivos depende diretamente da capacidade das concessionárias estaduais de expandir a infraestrutura de forma eficiente e sustentável, em consonância com os princípios constitucionais da economicidade e da eficiência administrativa (Barbosa; Moura; Barros Filho, 2024).

Inseridas em um regime de monopólio natural, as concessionárias estaduais de gás natural enfrentam o desafio de conciliar múltiplas dimensões de desempenho. Entre elas destacam-se a eficiência econômica, associada à provisão do serviço ao menor custo possível; a equidade no acesso, relacionada à universalização e ao tratamento isonômico dos usuários; e

a *accountability,* entendida como transparência e responsabilização perante a sociedade e os órgãos de controle (Acquaviva, 2023). Nesse contexto, a atuação regulatória assume papel central, uma vez que, na ausência de competição de mercado, cabe ao Estado induzir comportamentos eficientes por meio de instrumentos técnicos de avaliação e comparação de desempenho (Biggar, 2025).

Para enfrentar esses desafios de forma estruturada, torna-se essencial a adoção de instrumentos de avaliação comparativa que permitam aferir o desempenho das concessionárias em relação àquelas que operam na fronteira de eficiência do setor. Essas unidades representam as melhores práticas operacionais, entendidas como aquelas capazes de converter, de forma mais eficiente, os insumos de capital e operação em resultados mensuráveis, como maior volume distribuído, maior número de consumidores atendidos e maior capilaridade da rede, dadas condições institucionais semelhantes (Biggar, 2025). É nesse âmbito que se insere esta dissertação, ao concentrar-se na mensuração da eficiência técnica relativa, dimensão central capturada pela Análise Envoltória de Dados (DEA), conforme sistematizado por Cook e Seiford (2009).

A utilização da DEA para avaliação de eficiência em setores regulados encontra respaldo teórico consolidado, com aplicações relevantes em serviços públicos caracterizados por elevada intensidade de capital e estruturas de monopólio natural, como energia elétrica (Soares De Mello et al., 2005) e saneamento básico (Tupper; Resende, 2004). No setor de gás natural, há estudos voltados a mercados mais maduros, como o europeu, nos quais a metodologia tem sido empregada para analisar a eficiência das distribuidoras em contextos de maior estabilidade regulatória (Halkos E Tzeremes, 2013). No Brasil, pesquisas mais recentes passaram a incorporar aspectos de governança e estrutura em rede na análise da eficiência das distribuidoras estaduais (Marques et al., 2024).

Esses avanços configuram uma agenda de pesquisa em construção, cujos resultados, entretanto, ainda não se traduziram em instrumentos operacionais de indução regulatória por desempenho no setor de gás natural canalizado (Tallens Junior et al., 2023). Os modelos disponíveis concentram-se em formulações radiais clássicas, que avaliam a eficiência por ajustes proporcionais e podem ocultar ineficiências específicas em variáveis individuais (Tone, 2001); não alcançam o período pós-reforma regulatória inaugurado pela Lei nº 14.134/2021; e não adotam critérios de homogeneidade institucional na composição das amostras, comparando indistintamente concessionárias sob regimes de governança distintos (Dyson et al., 2001). Essas limitações restringem tanto a comparação sistemática entre concessionárias quanto a utilização dos resultados como insumo efetivo para a regulação econômica em um ambiente federativo

marcado por heterogeneidades institucionais, geográficas e de mercado (Marques et al., 2024). Como destacam Joskow (2008) e Biggar (2025), a eficácia da regulação por desempenho depende da existência de referenciais comparativos metodologicamente adequados, capazes de distinguir custos estruturalmente inevitáveis de ineficiências associadas à gestão operacional. Este estudo dialoga com a primeira dessas limitações ao acoplar ao modelo radial BCC uma leitura das folgas por dimensão (OPEX, rede, CAPEX e atendimento), que recupera, na etapa de discussão, as ineficiências específicas que o ajuste proporcional não evidencia, conciliando a compatibilidade radial exigida pelo procedimento de segunda etapa de Simar e Wilson (2007) com o diagnóstico dimensional que a crítica de Tone (2001) recomenda.

A relevância da mensuração objetiva da eficiência torna-se ainda mais evidente quando se considera que a regulação econômica, em setores nos quais a competição não é viável, deve ir além do simples controle tarifário. Seu papel envolve induzir ganhos de eficiência, garantir qualidade na prestação dos serviços e estimular investimentos sustentáveis, alinhando os interesses das concessionárias aos objetivos públicos (Bernades; Ribeiro; Chavez, 2023). No caso brasileiro, o desenho institucional baseado na descentralização da titularidade do serviço e na atuação de agências reguladoras estaduais resulta em um ambiente regulatório fragmentado e assimétrico, que demanda avaliações criteriosas e individualizadas do desempenho das concessionárias (Levita, 2024).

É nesse contexto que se destaca a atuação da Sergipe Gás S.A. (SERGAS), concessionária estadual criada em 1994. Como sociedade de economia mista, a SERGAS situa-se na interseção entre o regime jurídico-administrativo e os imperativos de desempenho econômico, estando submetida à regulação da Agência Reguladora de Serviços Públicos do Estado de Sergipe (AGRESE) (SERGAS, 2023). Essa atuação regulatória abrange a definição tarifária, a fiscalização técnica e a supervisão contratual, dimensões que, para serem eficazes, devem estar apoiadas em métricas objetivas de eficiência (Jamasb, Pollitt, 2001). Na ausência de tais métricas, a avaliação do desempenho da concessionária torna-se inviável, dificultando a distinção entre custos economicamente justificáveis e ineficiências técnicas decorrentes de falhas na alocação de recursos (Biggar, 2025).

A oportunidade analítica identificada reside na necessidade de atualizar e refinar os referenciais comparativos de eficiência técnica operacional disponíveis para as distribuidoras estaduais de gás natural no Brasil. Embora a agenda de pesquisa no setor tenha registrado contribuições relevantes, os estudos existentes não contemplam o período pós-reforma regulatória (2020–2024). Nesse cenário, tanto a autoavaliação das concessionárias quanto a atuação regulatória permanecem carentes de parâmetros metodologicamente atualizados e

operacionalmente aplicáveis, capazes de diferenciar custos estruturalmente inevitáveis de ineficiências associadas à gestão. Dessa forma, a aplicação da Análise Envoltória de Dados (DEA), por meio do modelo BCC orientado a insumos sob retornos variáveis de escala, associada à análise dos fatores contextuais relacionados à eficiência, permite posicionar a Sergipe Gás S.A. (SERGAS) em relação às demais concessionárias estaduais do setor.

Os resultados obtidos fundamentam o desenvolvimento de um instrumento gerencial de monitoramento do desempenho, cujo foco recai primariamente sobre a governança corporativa da própria concessionária, a gestão baseada em evidências e a tomada de decisão interna. A atuação do agente regulador, por sua vez, permanece como horizonte de aplicação futura, para a qual o mesmo instrumento pode servir de base, de modo que o produto de gestão desenvolvido para a concessionária constitui também um ponto de partida para o uso regulatório.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E PROBLEMATIZAÇÃO

A regulação de serviços públicos de infraestrutura em setores caracterizados como monopólios naturais, como a distribuição de gás canalizado, impõe desafios relevantes à formulação de políticas públicas e à avaliação do desempenho das concessionárias. Em ambientes com baixa ou inexistente concorrência, a ausência de instrumentos objetivos de mensuração da eficiência técnica tende a comprometer a alocação eficiente de recursos, a transparência regulatória e a indução de comportamentos gerenciais orientados à eficiência (Porto; Franco, 2024).

Nesse contexto, consolida-se, no campo da economia da regulação, a lógica da regulação por desempenho, cuja base teórica remonta à abordagem da *Yardstick Competition*, proposta por Shleifer (1985). Segundo essa perspectiva, a comparação entre operadores semelhantes pode funcionar como um substituto aos mecanismos de concorrência de mercado, ao vincular a remuneração e os incentivos regulatórios ao desempenho relativo. Essa lógica foi posteriormente incorporada e aprimorada na regulação contemporânea de setores de infraestrutura, especialmente em serviços públicos essenciais de rede (*utilities*), nos quais o desempenho relativo passou a orientar a definição tarifária e os incentivos regulatórios (Joskow, 2008; Shleifer, 1985).

No Brasil, a evolução recente do marco regulatório do setor de gás natural impõe novos desafios à regulação estadual. Embora a distribuição de gás canalizado permaneça sob competência dos estados, conforme o artigo 25 da Constituição Federal de 1988, a promulgação

da Lei nº 14.134/2021 aprofundou a abertura de mercado e flexibilizou os requisitos para o Consumidor Livre, expondo as distribuidoras a um ambiente de competição potencial. Nesse cenário, o modelo tradicional de regulação pelo custo (*cost-plus*) mostra limitações relevantes, uma vez que, ao assegurar o repasse integral dos custos às tarifas, reduz os incentivos à contenção de despesas e à melhoria da eficiência produtiva, além de dificultar a modicidade tarifária necessária para a retenção de consumidores em contextos de maior liberdade de escolha (Biggar, 2025; Joskow, 2008).

Em resposta a essas limitações, diretrizes nacionais de boas práticas regulatórias têm recomendado a transição para modelos de regulação por desempenho, nos quais a eficiência técnica operacional assume papel central como critério de avaliação das concessionárias. O Manual de Boas Práticas Regulatórias do Comitê de Monitoramento da Abertura do Mercado de Gás Natural (Brasil, 2020) destaca que a incorporação de métricas objetivas de desempenho contribui para alinhar incentivos econômicos, transparência regulatória e sustentabilidade do serviço público.

Entretanto, a efetividade da regulação por desempenho depende criticamente da existência de *benchmarks* robustos e metodologicamente adequados. Evidências empíricas indicam que a simples comparação de custos médios nacionais é insuficiente para avaliar o desempenho de concessionárias que operam sob condições estruturais distintas, pois ignora assimetrias regionais relacionadas à escala de operação, densidade de mercado, extensão da rede e características geográficas das áreas de concessão (Marinho, 2023). Essa limitação dificulta a distinção entre ineficiências atribuíveis à gestão e restrições exógenas à firma, podendo resultar em diagnósticos enviesados e decisões regulatórias potencialmente injustas (Ray, 2004; Simar; Wilson, 2007).

Diante desse desafio, a mensuração da eficiência técnica em concessionárias de distribuição de gás natural requer métodos capazes de considerar simultaneamente múltiplos insumos e produtos, preservando a comparabilidade entre unidades sujeitas a diferentes condições operacionais. Nesse contexto, a Análise Envoltória de Dados (DEA) apresenta-se como uma ferramenta metodológica adequada para a construção de *benchmarks* de eficiência em serviços públicos de infraestrutura, ao permitir a comparação entre unidades operacionais homogêneas com base na relação entre insumos e produtos, sem a necessidade de especificação prévia de uma função de produção (Halkos; Tzeremes, 2013; Joskow, 2008).

Sob essa perspectiva, a análise da Sergipe Gás S.A. (SERGAS) assume particular relevância. A concessionária opera em um contexto marcado por restrições geográficas, escala reduzida em comparação a grandes distribuidoras nacionais e pelo desafio de compatibilizar

desempenho econômico com objetivos de interiorização da rede de distribuição. A adoção de mecanismos de regulação por desempenho sem o devido ajuste metodológico pode, portanto, resultar na penalização da empresa por fatores alheios à sua governabilidade, comprometendo a equidade regulatória (SERGAS, 2023).

Ademais, a ausência de diagnósticos técnicos sistematizados sobre a eficiência operacional das concessionárias limita não apenas a formulação de políticas regulatórias baseadas em evidências, mas também a própria capacidade de tomada de decisão interna das empresas reguladas. Em contextos de transição para modelos de regulação por desempenho, torna-se relevante a produção de instrumentos analíticos que traduzam os resultados da avaliação de eficiência em subsídios técnicos compreensíveis e aplicáveis tanto pelos gestores quanto pelas agências reguladoras, fortalecendo o diálogo institucional e a transparência do processo decisório.

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Diante do exposto, formula-se a seguinte questão de pesquisa: em que medida a mensuração da eficiência técnica operacional da Sergipe Gás S.A. (SERGAS), por meio da Análise Envoltória de Dados (DEA), pode situá-la comparativamente frente às demais concessionárias estaduais e ser traduzida em um instrumento gerencial de monitoramento recorrente do desempenho, com potencial de apoio à governança corporativa da concessionária no setor de distribuição de gás natural?

1.3 OBJETIVOS

A partir do problema de pesquisa apresentado, foram definidos o objetivo geral e os objetivos específicos que orientam o desenvolvimento desta dissertação.

1.3.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo geral avaliar a eficiência técnica operacional da Sergipe Gás S.A. (SERGAS), por meio da Análise Envoltória de Dados (DEA), em comparação com as demais concessionárias estaduais de distribuição de gás natural, e analisar o potencial de utilização dos resultados como instrumento gerencial de monitoramento recorrente do desempenho e de apoio à governança corporativa da concessionária.

1.3.2 Objetivos específicos

Para alcançar esse propósito, estabelecem-se os seguintes objetivos específicos:

a) Estruturar o modelo de análise de eficiência para o setor de distribuição de gás natural no Brasil.

b) Mensurar os escores de eficiência técnica da Sergipe Gás S.A. (SERGAS) e de suas congêneres nacionais ao longo do período de 2020 a 2024.

c) Analisar a associação entre fatores contextuais de natureza econômica, geográfica e de mercado e os escores de eficiência obtidos**.**

d) Desenvolver um Painel de Indicadores de Eficiência para a Sergipe Gás S.A., concebido como instrumento gerencial recorrente de monitoramento do desempenho operacional comparado, destinado a subsidiar decisões de investimento, planejamento estratégico e prestação de contas no âmbito da governança corporativa da concessionária.

1.4 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

A relevância desta pesquisa se estabelece em três dimensões complementares: regulatório-institucional, metodológica e prática, as quais refletem a contribuição do estudo tanto para o avanço do conhecimento quanto para o aprimoramento da gestão e da regulação do setor de distribuição de gás natural.

No âmbito regulatório-institucional, o setor de distribuição de gás natural no Brasil apresenta características típicas de monopólio natural, decorrentes de elevados custos fixos, economias de escala e da inviabilidade econômica da duplicação de redes, o que justifica a presença de regulação estatal para assegurar eficiência, modicidade tarifária e universalização do serviço (Laffont E Tirole, 1993; Mankiw, 2013). Ademais, a titularidade estadual do serviço, prevista no artigo 25 da Constituição Federal de 1988, resultou em um ambiente regulatório descentralizado, marcado por heterogeneidade institucional entre estados, diferenças metodológicas na definição tarifária e assimetrias na capacidade técnica das agências reguladoras (Passos et al., 2022).

Nesse contexto, a indução da eficiência assume papel central, uma vez que a ausência de concorrência direta reduz os incentivos naturais à contenção de custos e à melhoria do desempenho operacional (Umarova, 2025; Joskow, 2008). A abordagem da regulação por

desempenho, fundamentada na teoria da *Yardstick Competition*, propõe o uso de comparações entre operadores semelhantes como substituto aos mecanismos de mercado, vinculando incentivos regulatórios e decisões tarifárias ao desempenho relativo (Shleifer, 1985). Desenvolvimentos mais recentes da teoria da regulação demonstram que a eficácia desse modelo depende da existência de *benchmarks* tecnicamente robustos, capazes de refletir as condições reais de operação das concessionárias e de sustentar decisões regulatórias baseadas em evidências (Joskow, 2008).

No contexto brasileiro, a aplicação de técnicas de fronteira de eficiência ao setor de distribuição de gás natural tem registrado avanços relevantes nos últimos anos. Andrade e Soares de Mello (2016) propuseram um modelo de Network DEA para avaliar a eficiência de distribuidoras brasileiras, incorporando a estrutura de rede ao processo de mensuração. Mais recentemente, Marques et al. (2024) aplicaram DEA com estrutura de governança e eficiência dinâmica ao setor, ampliando o escopo analítico para considerar efeitos temporais e institucionais. No campo mais amplo da avaliação de desempenho no setor público, Tallens Junior et al. (2023) sistematizaram as dimensões priorizadas nos sistemas de medição, oferecendo um referencial complementar para a contextualização dos resultados.

Esses estudos consolidam uma agenda de pesquisa em formação, mas ainda apresentam oportunidades de avanço. Em primeiro lugar, poucos estudos analisam o período de 2020 a 2024, marcado pela entrada em vigor da Lei nº 14.134/2021 (Nova Lei do Gás) e pelos efeitos da pandemia de COVID-19 sobre a demanda energética, fatores que alteraram o contexto operacional e regulatório das concessionárias de distribuição de gás natural. Em segundo lugar, parte da literatura compara indistintamente concessionárias estatais e privatizadas, sem considerar diferenças relevantes de governança, estrutura de incentivos e mecanismos de *accountability*, o que pode comprometer a comparabilidade entre as unidades analisadas (Dyson et al., 2001). Por fim, os estudos existentes concentram-se predominantemente na mensuração da eficiência relativa, sem traduzir seus resultados em instrumentos gerenciais que apoiem o monitoramento contínuo do desempenho e a tomada de decisão no âmbito das concessionárias estaduais.

É nesse contexto que o presente estudo se insere, propondo três contribuições complementares. A primeira consiste na atualização da análise para o período de 2020 a 2024, marcado por relevantes mudanças no ambiente regulatório e econômico do setor. A segunda refere-se à avaliação comparativa da eficiência técnica das concessionárias estaduais de distribuição de gás natural, por meio da Análise Envoltória de Dados (DEA), complementada pela investigação dos fatores associados ao desempenho utilizando regressão truncada

com *bootstrap*. Por fim, a terceira contribuição consiste no desenvolvimento de um Produto Técnico-Tecnológico — o Painel de Indicadores de Eficiência — concebido para transformar os resultados da pesquisa em uma ferramenta de monitoramento contínuo do desempenho e de apoio à gestão da Sergipe Gás S.A. (SERGAS).

Sob a dimensão metodológica, a adoção da Análise Envoltória de Dados (DEA), associada à análise de segunda etapa para investigação dos determinantes exógenos da eficiência, representa a aplicação de um arcabouço analítico amplamente consolidado na avaliação de desempenho de serviços públicos regulados. A DEA destaca-se por sua capacidade de mensurar a eficiência técnica relativa em contextos caracterizados por múltiplos insumos e produtos, sem a necessidade de especificação prévia de uma função de produção, sendo particularmente adequada para setores de infraestrutura de rede (Thanassoulis, 2000; Coelli et al., 2005; Cooper; Seiford; Zhu, 2011). Ao aplicar esse instrumental a um contexto institucional complexo e heterogêneo como o brasileiro, o presente estudo contribui para o refinamento da modelagem de *inputs* e *outputs* compatíveis com as especificidades da indústria de gás natural, oferecendo uma aplicação metodológica adaptada às especificidades da distribuição de gás natural e contribuindo para ampliar as evidências empíricas sobre eficiência em serviços públicos regulados.

Complementarmente, a leitura contextual de documentos institucionais públicos da concessionária, notadamente os Relatórios Anuais de Gestão, permite que os escores de eficiência sejam interpretados à luz das condições concretas de operação e dos processos decisórios da organização, aproximando a análise do campo da administração pública e da governança corporativa de empresas estatais.

Por fim, na dimensão prática, esta pesquisa contribui em dois planos complementares. No primeiro plano, mensura a eficiência técnica e identifica benchmarks operacionais, gerando subsídios objetivos à gestão estratégica da SERGAS. No segundo plano, e mais importante, traduz esses subsídios em um Painel de Indicadores estruturado para uso gerencial recorrente, conectando a mensuração ao processo decisório real da empresa.

Essa transição do diagnóstico isolado ao instrumento institucionalizado é o que permite que a pesquisa não se esgote na produção de um relatório, mas se incorpore à governança corporativa da concessionária, com potencial para apoiar a prestação de contas, o planejamento de investimentos e o aprimoramento da gestão do serviço público de distribuição de gás natural canalizado no estado.

1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Além desta introdução, a dissertação está estruturada em quatro capítulos. O Capítulo 2 apresenta o referencial teórico que fundamenta a pesquisa, abordando a infraestrutura de gás natural no Brasil, o marco regulatório do setor, os fundamentos econômicos da regulação, a eficiência em monopólios naturais, a governança de empresas estatais e as aplicações da Análise Envoltória de Dados (DEA) na avaliação de desempenho. Ao final, apresenta-se a síntese integradora que articula os fundamentos teóricos às variáveis e às decisões metodológicas da pesquisa.

O Capítulo 3 apresenta os procedimentos metodológicos da pesquisa, contemplando a natureza e a abordagem metodológica, a estratégia de pesquisa, a delimitação do campo e das unidades de análise, os instrumentos de coleta de dados e as técnicas de análise. Também são apresentados o modelo DEA BCC orientado a insumos sob retornos variáveis de escala, os critérios de seleção das DMUs e das variáveis, a análise dos fatores associados à eficiência por meio da regressão truncada com *bootstrap*, as análises de robustez, os softwares utilizados e os aspectos éticos da pesquisa. O Capítulo 4 apresenta e discute os resultados da pesquisa, contemplando a mensuração da eficiência técnica, a análise dos fatores contextuais associados aos escores, os benchmarks e as folgas identificadas, bem como suas implicações para a gestão e a regulação. Por fim, o Capítulo 5 apresenta as considerações finais, as limitações da pesquisa e as recomendações para estudos futuros, além das implicações decorrentes do produto técnico proposto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico desta dissertação é construído em torno de um problema central de Administração Pública: como avaliar, de forma objetiva e replicável, o desempenho de uma empresa estatal que presta serviço público em regime de monopólio natural, num contexto federativo marcado por heterogeneidades institucionais e ausência de concorrência. Para responder a essa questão, o capítulo articula cinco eixos complementares. O primeiro (seção 2.1) situa a provisão de infraestrutura como função do Estado e a eficiência como imperativo da gestão pública, a partir dos marcos teóricos da função alocativa e da reforma gerencial. O segundo (seção 2.2) contextualiza o setor de gás natural no Brasil e posiciona a SERGAS em seu ambiente institucional e regulatório. O terceiro (seção 2.3) examina a configuração de monopólio natural na cadeia do gás e o papel da regulação pública como indutora de eficiência. O quarto (seção 2.4) identifica os desafios concretos que as concessionárias enfrentam para operar de forma eficiente, com atenção especial às particularidades da gestão de empresas estatais. O quinto eixo (Seção 2.5) aborda os instrumentos de avaliação de desempenho na Administração Pública e fundamenta a utilização da Análise Envoltória de Dados (DEA) e da análise dos fatores associados à eficiência como abordagens para avaliação do desempenho relativo das concessionárias de distribuição de gás natural. Ao longo de todo o referencial, o fio condutor é a relação entre o princípio constitucional da eficiência, a governança das empresas estatais e a necessidade de instrumentos comparativos capazes de subsidiar a gestão baseada em evidências em setores regulados. Por fim, a Seção 2.6 apresenta o modelo conceitual da pesquisa, integrando os eixos teóricos e explicitando sua articulação com as variáveis e as decisões metodológicas adotadas.

2.1 A INFRAESTRUTURA COMO POLÍTICA PÚBLICA: O DESENVOLVIMENTO NACIONAL COM EFICIÊNCIA

A provisão de infraestrutura pública é reconhecida como uma das funções essenciais do Estado, assumindo caráter estratégico sobretudo em economias emergentes. Nesses contextos, déficits estruturais historicamente acumulados se materializam em gargalos logísticos, energéticos e de acesso a serviços essenciais. Tais gargalos não apenas limitam o crescimento econômico e a competitividade, mas também revelam ineficiências alocativas e produtivas na utilização dos recursos públicos, comprometendo a capacidade do Estado de promover inclusão social e desenvolvimento sustentável (Aschauer, 1989). A busca pela

eficiência na gestão e provisão desses serviços torna-se, portanto, um imperativo para otimizar o uso de recursos escassos e maximizar o impacto positivo na sociedade. Evidências empíricas de estudos comparativos internacionais e relatórios de organismos multilaterais indicam que a insuficiência e a baixa qualidade da infraestrutura elevam os custos de produção, reduzem a produtividade dos fatores e ampliam disparidades regionais, especialmente em contextos nos quais os investimentos não são acompanhados por mecanismos eficazes de avaliação de desempenho e eficiência operacional (Gramlich, 1994; Estache et al., 2004; BANCO MUNDIAL, 2024).

Sob o prisma da teoria das finanças públicas, esse papel estatal encontra respaldo na função alocativa formulada por Musgrave (1959), segundo a qual a intervenção governamental é necessária para corrigir falhas de mercado e assegurar a provisão socialmente eficiente de bens e serviços públicos. Em setores intensivos em capital, caracterizados por elevados custos fixos, economias de escala e configuração de monopólio natural como: energia, transporte e saneamento, a ausência de mecanismos adequados de indução à eficiência pode resultar em sobrecustos operacionais, desperdício de recursos e deterioração da qualidade do serviço. Nesse sentido, a atuação do Estado não se limita à garantia da oferta, mas envolve também a criação de arranjos institucionais capazes de promover eficiência produtiva, continuidade do serviço, universalização do acesso e modicidade tarifária (OCDE, 2021).

Historicamente, ao longo do século XX, especialmente no período posterior à Segunda Guerra Mundial, a expansão da infraestrutura econômica e social foi conduzida majoritariamente pelo setor público em diversos países, como parte de estratégias nacionais de desenvolvimento, industrialização e promoção do bem-estar social. A construção e a ampliação de redes de transporte, energia e saneamento foram compreendidas como condições fundamentais para a integração territorial e o aumento da produtividade agregada (Aschauer, 1989). No entanto, a ausência sistemática de instrumentos de mensuração de eficiência e de comparação de desempenho entre operadores frequentemente resultou em estruturas inchadas, baixa eficiência operacional e dificuldades de sustentabilidade financeira no médio e longo prazo (Capanema, 2022; Puschel et al, 2023).

A partir das décadas de 1980 e 1990, observou-se, em escala global, um movimento de reconfiguração do papel do Estado na provisão de infraestrutura, impulsionado por restrições fiscais, pela busca de maior eficiência produtiva e pela difusão de reformas institucionais associadas à liberalização econômica. Esse processo ampliou a participação do setor privado por meio de privatizações, concessões e parcerias público-privadas, com a expectativa de ganhos de eficiência decorrentes da introdução de incentivos de mercado (Megginson; Netter,

2001; Laffont; Tirole, 1993). Todavia, análises empíricas demonstram que, em setores caracterizados por monopólios naturais, a simples transferência da provisão ao mercado não foi suficiente para assegurar eficiência, universalização do acesso e equilíbrio entre qualidade do serviço e tarifas, reforçando a necessidade de regulação econômica eficaz e baseada em desempenho (Santos, 2022).

Nesse contexto, observa-se uma revalorização do papel do Estado não apenas como provedor direto, mas, sobretudo, como regulador e indutor de eficiência. Organismos internacionais destacam que políticas públicas eficazes no campo da infraestrutura devem incorporar arranjos regulatórios robustos e métricas objetivas de comparação capazes de simular pressões competitivas, orientar decisões alocativas e reduzir assimetrias de informação em ambientes de mercado imperfeito, a eficiência, nesse sentido, passa a ser compreendida como um objetivo central da regulação, associada à maximização do bem-estar social e à sustentabilidade fiscal. (OCDE, 2007; 2015).

No contexto brasileiro, a responsabilidade pela oferta de serviços de infraestrutura foi historicamente assumida pelo Estado, inicialmente por meio da provisão direta via empresas estatais. A partir da década de 1990, esse arranjo passou por transformações relevantes com a ampliação do uso de concessões, formalizadas por marcos institucionais como a Constituição Federal de 1988 e a Lei nº 8.987/1995 (Bresser-Pereira, 1998). Esses instrumentos preservaram a titularidade estatal dos serviços, ao mesmo tempo em que reforçaram a necessidade de mecanismos regulatórios capazes de assegurar prestação adequada, contínua e eficiente, compatibilizando investimentos, qualidade e tarifas (Dutra; Sampaio, 2017).

Essa trajetória revela que o debate sobre eficiência na infraestrutura não pertence exclusivamente ao campo da economia da regulação. Ele é, antes de tudo, um problema de Administração Pública: trata-se de definir como o Estado, na condição de titular, regulador ou acionista controlador, pode induzir e avaliar o desempenho das organizações que prestam serviços públicos em seu nome. A reforma gerencial dos anos 1990, sistematizada no Brasil por Bresser-Pereira (1998), reposicionou a eficiência como valor central da gestão pública, mas legou um desafio operacional: o de traduzir o princípio constitucional do artigo 37 em métricas objetivas capazes de distinguir desempenho adequado de desperdício de recursos. Nos setores de monopólio natural, esse desafio é agravado pela impossibilidade de recorrer ao mecanismo de preços como sinal de eficiência, o que transfere à regulação pública e aos instrumentos de avaliação de desempenho a função que o mercado exerce em setores competitivos. É nesse ponto que a presente dissertação se insere: não como exercício de economia aplicada, mas como

resposta a uma necessidade concreta de gestão pública, dotar uma empresa estatal e sua agência reguladora de parâmetros comparativos de desempenho operacional.

Dessa forma, a discussão sobre eficiência na gestão da infraestrutura pública assume papel central tanto do ponto de vista econômico quanto regulatório. A capacidade de mensurar desempenho, comparar operadores e identificar fronteiras eficientes torna-se condição necessária para que os investimentos realizados se traduzam em ganhos efetivos de produtividade, cobertura e qualidade do serviço (Joskow, 2024). Esse debate é particularmente relevante no setor de gás natural, cuja estrutura de monopólio natural, elevada intensidade de capital e importância estratégica para a política energética nacional demandam instrumentos analíticos capazes de avaliar a eficiência técnica das concessionárias e subsidiar decisões regulatórias. A próxima seção aprofundará essa discussão, focando nas especificidades e desafios da busca pela eficiência nesse setor estratégico.

2.2 O SETOR DE GÁS NATURAL NO BRASIL: CONTEXTO E MARCO REGULATÓRIO

A trajetória do setor de gás natural no Brasil remonta à década de 1940, quando surgiram as primeiras iniciativas de exploração associada à produção de petróleo na Bacia de Campos. Contudo, foi somente a partir da criação da Petrobrás, em 1953, que se estruturaram os investimentos mais consistentes na cadeia do gás. Nas décadas seguintes, a utilização do insumo permaneceu restrita, com ênfase em usos industriais e de geração elétrica em caráter complementar (ANP, 2024).

A partir dos anos 1990, com o processo de abertura econômica e a promulgação da Lei do Petróleo (Lei nº 9.478/1997), o setor passou a receber maior atenção regulatória. A criação da Agência Nacional do Petróleo (ANP) em 1997 foi um marco para a organização institucional e para a regulação técnica do setor. Nesse contexto de institucionalização, o gás natural consolidou-se como elemento estratégico para diversificação da matriz energética, sobretudo após a implantação do Gasoduto Bolívia–Brasil (GASBOL) em 1999, que ampliou significativamente a sua oferta (ANP, 2024).

Especificamente no setor energético, a infraestrutura de gás natural passou a ocupar papel central nas últimas décadas, integrando de forma estruturante as diretrizes de política pública voltadas à segurança energética, à diversificação da matriz e à redução de vulnerabilidades no suprimento, conforme delineado nos instrumentos de planejamento energético de médio e longo prazo (MME, 2020; EPE, 2020). À luz desse contexto de expansão

estratégica, consolidou-se a percepção de que a modernização institucional seria indispensável para adequar o setor às novas exigências de competitividade e sustentabilidade.

Em resposta a essa necessidade, o mercado brasileiro de gás natural vem passando por transformações significativas, especialmente a partir das medidas que compõem o programa "Novo Mercado de Gás", lançado pelo governo federal em 2019, esse conjunto de ações visa promover a abertura do mercado, a redução da concentração nas mãos de poucos agentes e o aumento da eficiência econômica (Cardoso et al., 2023). O programa estabelece diretrizes, como a venda de ativos de transporte e distribuição da Petrobras, o incentivo à entrada de novos agentes e o fim da exclusividade de acesso à infraestrutura essencial, a fim de fomentar a concorrência.

De acordo com Ferraro e Pinto (2025), a estrutura histórica do setor, altamente verticalizada e concentrada, representava um obstáculo à livre concorrência, à entrada de novos agentes e à diversificação da oferta, sendo assim a superação dessas barreiras demanda um marco regulatório robusto, capaz de promover segurança jurídica, acesso não discriminatório à infraestrutura e estímulos à eficiência das distribuidoras. Nesse quadro de transição, tornou-se necessária a formulação de um novo marco jurídico capaz de sustentar as mudanças pretendidas.

Nesse sentido, a promulgação da Lei nº 14.134/2021, conhecida como Nova Lei do Gás, e sua regulamentação pelo Decreto nº 10.712/2021, representam um divisor de águas para o setor. A nova legislação substituiu o regime de concessão pelo modelo de autorização para a construção e operação de gasodutos, introduziu o regime de entrada e saída nas redes de transporte e estabeleceu regras para o acesso de terceiros às infraestruturas essenciais, com vistas a fomentar a concorrência, reduzir custos e ampliar o acesso ao insumo (Morais, 2021). Além disso, mecanismos como o *gas release* e a separação entre atividades de transporte e comercialização (*unbundling*) visam promover maior dinamismo no mercado (Ferraro; Pinto, 2025).

Contudo, a efetivação desses objetivos regulatórios depende de uma série de fatores institucionais e operacionais. Como apontam Cardoso et al. (2023) o sucesso da Nova Lei do Gás está condicionado à harmonização entre a regulação federal, exercida pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), e a regulação estadual, de competência das agências reguladoras locais, responsáveis pelas atividades de distribuição. Essa coexistência de esferas regulatórias pode gerar assimetrias normativas e conflitos de competência, afetando a previsibilidade e a eficiência do setor. Por exemplo, a definição de tarifas e a outorga de novas concessões podem ser objeto de atrito, criando incertezas que

desestimulam novos investimentos. Além disso, Ertürk e Türüt-Aşik (2022) destacam que, por se tratar de um monopólio natural, a distribuição de gás natural requer regulamentação rigorosa e tecnicamente orientada, a fim de garantir segurança, preços justos e qualidade no fornecimento, o que reforça a necessidade de um alinhamento claro e funcional entre as diversas instâncias de regulação.

A modernização regulatória também abre espaço para a incorporação de novas fontes energéticas. Britto (2021) ressalta que o novo marco jurídico pode impulsionar a integração de fontes renováveis na matriz energética brasileira, como o biometano, especialmente nas regiões com produção agroindustrial significativa, desde que sejam superados entraves técnicos e regulatórios. A superação desses entraves e a gestão de uma rede mais complexa e diversificada representam, portanto, uma nova fronteira para os desafios de eficiência na prestação de serviços de infraestrutura pública.

Nesse cenário de transformação setorial, a Sergipe Gás S.A. (SERGAS) ocupa posição singular. Criada em 1994 como sociedade de economia mista vinculada ao Governo do Estado de Sergipe, a concessionária opera sob a regulação da Agência Reguladora de Serviços Públicos do Estado de Sergipe (AGRESE) e atende a um mercado de escala relativamente reduzida quando comparado às grandes distribuidoras do Sudeste e do Nordeste. A extensão da rede, o número de consumidores e o volume distribuído situam a SERGAS entre as menores concessionárias estaduais do país, o que levanta, de imediato, uma questão de gestão pública: até que ponto o porte reduzido compromete a eficiência operacional, e em que medida eventuais ineficiências são atribuíveis à gestão da empresa ou a restrições estruturais do território sergipano, menor densidade demográfica, base industrial menos diversificada e mercado consumidor de menor dimensão. A ausência de um diagnóstico técnico que responda a essa pergunta priva tanto a gestão interna da concessionária quanto a agência reguladora de parâmetros objetivos para a tomada de decisão, a definição de metas contratuais e a prestação de contas ao acionista controlador e à sociedade. É essa lacuna que a presente pesquisa busca preencher, ao inserir a SERGAS em um quadro comparativo de eficiência técnica com suas congêneres estaduais.

Em suma, o panorama apresentado demonstra que o setor de gás natural no Brasil atravessa um profundo processo de reestruturação, impulsionado por um novo marco regulatório que visa fomentar a concorrência e a eficiência. Contudo, para Ferraro e Pinto (2025) essa transição de um modelo de monopólio para um mercado mais aberto expõe as distribuidoras a um conjunto de desafios complexos sejam eles regulatórios, operacionais ou tecnológicos. Nesse contexto, o conceito de eficiência emerge como elemento central para

analisar e enfrentar tais obstáculos, uma vez que, em setores de infraestrutura caracterizados por monopólio natural e submetidos a processos de abertura de mercado, a regulação econômica passa a se orientar fundamentalmente pela mensuração do desempenho relativo das firmas, pela contenção de custos e pela indução à eficiência produtiva e alocativa (Joskow, 2024). Portanto, a próxima seção se dedica a explorar os fundamentos e as dificuldades inerentes à busca pela eficiência na prestação de serviços de infraestrutura pública, fornecendo o arcabouço conceitual necessário para a presente pesquisa.

2.3 MONOPÓLIOS NATURAIS, CADEIA DO GÁS NATURAL E O PAPEL DA REGULAÇÃO PÚBLICA

Diversos serviços públicos de infraestrutura, como a distribuição de gás natural, são comumente classificados como monopólios naturais. Essa configuração decorre de economias de escala significativas, nas quais a prestação do serviço por uma única empresa se mostra mais eficiente do que a existência de múltiplos fornecedores, devido aos elevados custos fixos e à necessidade de amortização de investimentos de longo prazo (Mattos, 2022).

Segundo Mankiw (2013), essa estrutura de mercado ocorre quando o custo de produção de uma única empresa é significativamente menor do que o de duas ou mais empresas, tornando a duplicação de infraestrutura economicamente inviável. Essa característica é particularmente evidente nos setores que exigem a construção de redes físicas extensas, como gasodutos, que demandam elevados custos irrecuperáveis (*sunk costs*) e que desestimulam a entrada de concorrentes, uma vez que tal estrutura de mercado se afasta da competição ideal, a atuação do Estado se torna crucial na regulação do setor (Hafner e Luciani, 2022). Pires e Campos Filho (2002) argumentam que, no contexto brasileiro, os monopólios naturais demandam arranjos regulatórios robustos não apenas para assegurar a eficiência produtiva, mas também para garantir o atendimento ao interesse público e a modicidade tarifária.

No setor de gás natural, tais características são particularmente evidentes na etapa de distribuição, que demanda investimentos expressivos em infraestrutura, enfrenta limitações de escala por região e apresenta retorno financeiro em longo prazo (Passos et al., 2022; Dutra; Sampaio, 2017). A cadeia de valor desse insumo energético, como descreve Souza (2022), é composta por diferentes etapas: produção, processamento, transporte, distribuição e comercialização. Essa distinção é fundamental, pois o regime regulatório de cada etapa é desenhado para compensar a ausência de competição natural. Enquanto as fases de produção e comercialização operam sob regime de concorrência, o transporte e a distribuição, por outro

lado, permanecem reguladas como monopólios naturais, o que reforça a importância de mecanismos regulatórios eficientes (Marques et al., 2024).

A regulação pública nesses segmentos desempenha papel estratégico para equilibrar interesses econômicos e sociais, buscando assegurar modicidade tarifária aos consumidores, viabilidade financeira para as concessionárias e expansão da rede para regiões ainda não atendidas (Rocha e Ribeiro, 2022). De acordo com a OCDE (2021), em mercados com monopólios naturais, a regulação funciona como um substituto dos mecanismos de concorrência, criando incentivos para o aumento da eficiência por meio de instrumentos como a Regulação por Desempenho (*Performance-Based Regulation)* e o estabelecimento de metas claras de qualidade e expansão da rede. Esses mecanismos promovem a *accountability* dos agentes envolvidos.

Além disso, a definição de modelos regulatórios específicos para cada etapa da cadeia produtiva é fundamental para oferecer segurança jurídica e atrair investimentos. Conforme destaca Passos et al. (2022), o grau de maturidade de cada mercado influencia diretamente a estrutura regulatória adotada, sendo que países com menor desenvolvimento no setor podem aprender com as experiências de mercados mais consolidados, ajustando seus instrumentos regulatórios conforme suas realidades institucionais e operacionais.

No Brasil, a titularidade dos serviços locais de gás canalizado é atribuída aos estados, conforme determina o §2º do artigo 25 da Constituição Federal de 1988. Esse arranjo institucional resultou em um ambiente regulatório descentralizado, no qual diferentes agências estaduais definem normas, metodologias tarifárias e indicadores de desempenho (Passos et al., 2022). Essa diversidade normativa representa, ao mesmo tempo, um desafio para a uniformização de critérios de eficiência uma vez que a falta de um padrão nacional dificulta a comparação de desempenho entre concessionárias. Ao mesmo tempo, é uma oportunidade para a implementação de modelos inovadores de gestão e regulação adaptados às especificidades locais, como destacam Bacellar e Costaldello (2020).

O desempenho regulatório está fortemente condicionado pela capacidade institucional dos entes envolvidos e pela articulação entre os diferentes níveis de governo, sendo que contextos descentralizados, embora dificultem a padronização, podem favorecer arranjos regulatórios mais sensíveis às realidades regionais e às dinâmicas locais de governança (Brasil, 2024).

Dessa forma, a caracterização da distribuição de gás natural como monopólio natural, inserida em uma cadeia produtiva complexa e regulada de forma descentralizada no Brasil, evidencia que a atuação do Estado vai além da simples definição de regras de acesso e tarifas.

A regulação passa a incorporar, de maneira crescente, a preocupação com o desempenho das concessionárias, especialmente no que se refere à utilização eficiente dos recursos empregados na prestação do serviço. Nesse contexto, a eficiência deixa de ser apenas um objetivo normativo abstrato e se consolida como critério central para a legitimidade da regulação e da gestão pública, conectando os fundamentos econômicos e institucionais do setor aos desafios concretos enfrentados na provisão de serviços de infraestrutura. Do ponto de vista da Administração Pública, o que está em jogo não é apenas a estrutura de mercado monopolista ou competitiva, mas a capacidade do Estado de cumprir sua função de acionista controlador e de regulador com base em evidências. A competência constitucional dos estados sobre o serviço de gás canalizado (art. 25, §2º, CF/1988) implica responsabilidade não apenas pela outorga, mas pela verificação da relação entre os recursos empregados pelas concessionárias e os resultados operacionais alcançados, considerando parâmetros comparativos de desempenho entre unidades submetidas a condições institucionais semelhantes. É a partir dessa relação entre estrutura regulatória, governança de estatais e avaliação de desempenho que se insere a discussão sobre os desafios de eficiência na prestação de serviços públicos de infraestrutura, desenvolvida na seção seguinte.

2.4 OS DESAFIOS DE EFICIÊNCIA NA PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS DE INFRAESTRUTURA PÚBLICA

A gestão e fornecimento de serviços públicos estruturantes representa um dos campos mais desafiadores para a administração pública, tanto pela magnitude dos investimentos envolvidos quanto pela complexidade técnica e institucional inerentes à sua execução (Pinto, 2019). Em setores como transporte, energia, saneamento e telecomunicações, a provisão eficiente desses serviços exige não apenas capacidade de planejamento e gestão, mas também a implementação de mecanismos eficazes de regulação e avaliação de desempenho, com foco em eficiência e economicidade (Bandeira; Gonçalves; Corrêa Filho, 2024).

Do ponto de vista jurídico-institucional, os princípios constitucionais da eficiência e da economicidade, previstos no artigo 37 da Constituição Federal de 1988 e reforçados pela Lei de Responsabilidade Fiscal (Lei Complementar nº 101/2000), impõem à gestão pública a obrigação de utilizar os recursos de forma racional, maximizando os resultados sociais com os menores custos possíveis. Na perspectiva das finanças públicas, Musgrave (1959) também destaca a eficiência como uma das três funções clássicas do orçamento público, ao lado da alocação de recursos e da distribuição de renda. Sob esse enfoque, a eficiência passa a assumir

papel de destaque como elemento de racionalização da gestão fiscal, visando ao uso ótimo dos recursos públicos.

No âmbito da gestão pública contemporânea, a busca por eficiência não se limita à contenção de custos, mas envolve igualmente a melhoria da qualidade dos serviços prestados, em consonância com os princípios de governança orientada a resultados (Behn, 2003). Essa abordagem ganhou força a partir das transformações institucionais ocorridas nas décadas recentes, especialmente com a adoção de práticas gerenciais inspiradas no setor privado (Papi, 2024). O movimento conhecido como Nova Gestão Pública (*New Public Management*) introduziu conceitos como a utilização sistemática de indicadores de desempenho, a descentralização administrativa e a responsabilização pelos resultados alcançados (SANO e ABRUCIO, 2008).

Essa discussão adquire contornos específicos quando o prestador de serviço de infraestrutura é uma empresa estatal, particularmente na forma jurídica de sociedade de economia mista, modelo predominante entre as distribuidoras estaduais de gás natural no Brasil. Diferentemente de empresas privadas, cujo objetivo primário é a maximização do valor para o acionista, as sociedades de economia mista operam sob dupla finalidade: devem gerar resultado econômico compatível com sua sustentabilidade financeira e, simultaneamente, atender ao interesse público que justificou sua criação, no caso das distribuidoras, a universalização do acesso ao gás natural, a modicidade tarifária e a segurança do abastecimento (Brasil, 2016). Essa dualidade configura um problema clássico de agência múltipla, no qual os gestores respondem simultaneamente a objetivos potencialmente conflitantes: o acionista controlador (o Estado) busca cobertura e modicidade, enquanto acionistas minoritários e a própria lógica de mercado demandam eficiência e rentabilidade (Fontes Filho; Picolin, 2008).

A Lei nº 13.303/2016 (Lei das Estatais) buscou endereçar esses desafios ao estabelecer requisitos de governança corporativa para as empresas estatais brasileiras, incluindo regras para composição de conselhos, transparência, gestão de riscos e avaliação de desempenho. Contudo, conforme observam Lazzarini e Musacchio (2018), a efetividade desses mecanismos depende da existência de instrumentos de mensuração objetiva do desempenho que permitam aferir em que medida a empresa está cumprindo sua dupla finalidade. É precisamente nesse ponto que a avaliação de eficiência técnica, ao posicionar a empresa em relação a seus pares institucionais, oferece um parâmetro de *accountability* que transcende os indicadores financeiros tradicionais e permite ao acionista controlador, o Estado, avaliar comparativamente a relação entre os recursos empregados e os resultados operacionais alcançados em relação às concessionárias analisadas.

Apesar dessas inovações, a busca por eficiência na prestação de serviços de infraestrutura pública enfrenta desafios substanciais, que vão além da simples contenção de custos. Conforme Santos (2022), esses desafios são multifacetados, incluindo limitações orçamentárias que restringem o investimento em novas tecnologias, a rigidez institucional que dificulta a adaptação a novas práticas de gestão, assimetrias regulatórias que criam inconsistências no setor e restrições geográficas que encarecem a distribuição dos serviços, especialmente em um país de dimensões continentais como o Brasil. Esses obstáculos complexos dificultam a implementação de soluções padronizadas e exigem uma atuação estatal mais estratégica.

Esses obstáculos tornam ainda mais relevante a atuação do Estado como indutor da eficiência, especialmente em setores caracterizados por monopólios naturais, nos quais os elevados custos de entrada e a inviabilidade de competição exigem uma regulação ativa e técnica (Gonçalves, 2025). Nesse tipo de ambiente, a ausência de competição de mercado amplia a responsabilidade governamental na promoção de uma gestão eficiente e orientada ao interesse público (Mankiw, 2013). Como enfatiza a OCDE (2021), nesses contextos, a regulação passa a desempenhar um papel central, funcionando como um substituto aos incentivos de mercado e promovendo o alinhamento entre os objetivos sociais e o desempenho das organizações concessionárias.

A literatura sobre economia da regulação pública, como exemplificado nos trabalhos de Baldwin, Cave e Lodge (2012), detalha que a eficiência deve ser analisada não apenas sob a ótica da produtividade interna das organizações, mas também a partir de desafios externos, dentre eles, destacam-se: a dificuldade de se estabelecer metas contratuais realistas, que incentivem a melhoria contínua sem onerar excessivamente o consumidor; os riscos associados a incentivos institucionais inadequados, que podem levar a comportamentos oportunistas por parte das concessionárias como o *gold plating*, o superdimensionamento de investimentos; e os impactos regulatórios assimétricos, que podem favorecer ou prejudicar determinados agentes e dificultar a competitividade do setor.

No contexto brasileiro, os desafios da eficiência são agravados pelas heterogeneidades regionais e pelas diferentes maturidades institucionais entre os estados e suas agências reguladoras (Carvalho e Vendrametto, 2024). A diversidade de modelos de governança e regulação no país, exemplificada no setor de gás natural canalizado cria assimetrias que se tornam um desafio central para a gestão eficiente, por exemplo, a falta de padronização nos marcos regulatórios entre os estados dificulta a comparação de desempenho entre concessionárias e impede o estabelecimento de parâmetros nacionais de eficiência. A

consequência direta é uma alocação de recursos menos otimizada e a manutenção de lacunas de qualidade na prestação de serviços, dependendo da região do país (Souza, 2022).

Considerando essas especificidades, destaca-se a importância de compreender as características estruturais dos setores regulados, com ênfase na configuração de monopólios naturais, nas particularidades da cadeia de valor do gás natural e no papel desempenhado pelas agências reguladoras na promoção da eficiência e da economicidade. A partir da análise dos estudos selecionados, foi possível identificar conjuntos de restrições estruturais e institucionais que afetam a eficiência das distribuidoras de gás natural. Esses elementos foram organizados analiticamente no Quadro 1, que sintetiza os principais desafios identificados.

Quadro 1 – Principais desafios à eficiência na distribuição de gás natural

Desafio	**Conceito e Implicações**	**Referência**
Orçamentário	Limitações que restringem o investimento em novas tecnologias e na modernização da infraestrutura.	Santos (2022)
Institucional	Rigidez burocrática que dificulta a adaptação a novas práticas de gestão e a adoção de indicadores de desempenho.	Santos (2022)
Regulatório	Assimetrias regulatórias: Inconsistências entre as normas federais e estaduais, criando incertezas e desincentivos ao investimento. Dificuldade em definir metas: Problemas em estabelecer metas contratuais que incentivem a melhoria contínua sem onerar o consumidor.	Santos (2022); Baldwin, Cave e Lodge (2012)
Econômico	Monopólios naturais: A ausência de competição de mercado exige uma regulação ativa do Estado para garantir a eficiência e o interesse público. Incentivos Inadequados: A possibilidade de comportamentos oportunistas das concessionárias, como o *gold plating* (superdimensionamento de investimentos).	Mankiw (2013); Baldwin, Cave e Lodge (2012)
Geográfico	Restrições e custos adicionais na distribuição dos serviços em um país de dimensões continentais e com heterogeneidades regionais significativas.	Santos (2022); Carvalho; Vendrametto (2024)

Fonte: Elaborado pela autora (2026), com base em Santos (2022), Baldwin, Cave e Lodge (2012), Mankiw (2013) e Carvalho e Vendrametto (2024).

A sistematização apresentada no Quadro 1 evidencia que os desafios à eficiência na infraestrutura pública estão interligados às dimensões orçamentárias, institucionais, regulatórias e geográficas. Essa teia de fatores interdependentes revela que, antes de se avaliar a eficiência alocativa (o uso ótimo de recursos frente aos seus preços) ou a economicidade (o dever constitucional de boa administração), impõe-se a necessidade de um diagnóstico

fundamental: o de aferir se a organização está operando em seu pleno potencial produtivo ou se está desperdiçando recursos (Diniz, 2012; Farrell, 1957; Furtado; Campos, 2015).

Esta questão central define o escopo desta dissertação. O foco recairá, portanto, na eficiência técnica operacional, que, conforme a definição seminal de Farrell (1957), representa a capacidade de uma unidade produtiva de maximizar sua produção (*outputs*) para um dado nível de insumos (*inputs*). No contexto das distribuidoras de gás natural, essa abordagem é particularmente pertinente, uma vez que a atividade é caracterizada por elevada intensidade de capital, ativos específicos e custos predominantemente fixos.

Os *inputs* típicos do setor incluem, entre outros, a extensão da rede de distribuição, o volume de investimentos em ativos físicos, os custos operacionais e de manutenção, bem como os recursos humanos empregados na operação e gestão do sistema. Já os *outputs* refletem os resultados físicos e operacionais da atividade, tais como o volume de gás distribuído, o número de consumidores atendidos, a densidade de mercado e a expansão da cobertura da rede (Zorić Et Al., 2009; Andrade; Soares De Mello, 2016). A mensuração da eficiência técnica, nesse contexto, constitui o diagnóstico primário indispensável, pois permite avaliar em que medida as concessionárias transformam recursos físicos e organizacionais em serviços efetivamente prestados, isolando a performance da gestão operacional da influência direta dos preços de mercado e concentrando-se estritamente na relação entre insumos e resultados alcançados (Farrell, 1957; Joskow, 2008).

A análise dos desafios à eficiência na prestação de serviços de infraestrutura pública evidencia que a simples observância de princípios normativos, como eficiência e economicidade, não é suficiente para assegurar uma gestão orientada a resultados em setores regulados. As restrições orçamentárias, institucionais, regulatórias, econômicas e geográficas que caracterizam a distribuição de gás natural impõem limites objetivos à atuação das concessionárias e dificultam a comparação direta de desempenho entre unidades inseridas em contextos distintos. Nesse cenário, a ausência de mecanismos sistemáticos de avaliação comparativa compromete tanto a capacidade de gestão das empresas quanto a atuação das agências reguladoras na indução à eficiência.

Diante dessa complexidade, torna-se necessário avançar para instrumentos analíticos capazes de traduzir o conceito de eficiência em métricas operacionais objetivas, que permitam avaliar a forma como os recursos físicos, financeiros e organizacionais são convertidos em serviços efetivamente prestados à sociedade. A superação dos desafios identificados neste capítulo demanda, portanto, uma abordagem de avaliação de desempenho que considere

simultaneamente múltiplos insumos e produtos, possibilite comparações entre concessionárias e funcione como subsídio técnico para a regulação por desempenho.

Cabe destacar que os desafios sistematizados no Quadro 1 não são categorias meramente abstratas: eles se manifestam empiricamente nas fontes de ineficiência que a análise desta pesquisa identifica. Como se detalha no Capítulo 4, a decomposição da eficiência técnica em folgas revelou dois perfis distintos de ineficiência entre as distribuidoras estaduais, um associado ao consumo excessivo de insumos (OPEX e CAPEX acima do necessário para o atendimento prestado) e outro associado ao déficit de atendimento (subutilização dos recursos já instalados frente ao mercado potencial). O primeiro perfil dialoga diretamente com os desafios econômico e orçamentário, ao expor o risco de superdimensionamento de recursos (*gold plating*) (Baldwin; Cave; Lodge, 2012); o segundo conecta-se aos desafios geográfico e de mercado, ao evidenciar como restrições de demanda regional condicionam a capilaridade alcançável da rede (Nauges; Van Den Berg, 2008). Essa correspondência entre os desafios teóricos e os padrões empíricos observados reforça a utilidade de instrumentos analíticos capazes de identificar diferenças de eficiência e padrões de utilização de insumos e produtos entre as concessionárias. A Análise Envoltória de Dados contribui para esse diagnóstico ao mensurar a eficiência técnica relativa e identificar folgas em relação à fronteira estimada, enquanto a investigação de possíveis fatores estruturais e contextuais associados aos escores requer análise complementar.

É nesse contexto que se insere a discussão sobre avaliação de desempenho no setor público e sobre os instrumentos quantitativos disponíveis para sua operacionalização, tema desenvolvido na seção seguinte.

2.5 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO NO SETOR PÚBLICO: NECESSIDADES E INSTRUMENTOS

A avaliação de desempenho no setor público emerge como uma resposta direta à crescente demanda por maior eficiência, transparência e *accountability* na gestão estatal, em um contexto de restrições fiscais e de crescentes pressões sociais por serviços públicos de melhor qualidade. A medição do desempenho das organizações públicas não é apenas uma escolha gerencial, mas uma exigência institucional e política (Behn, 2003; Bouckaert; Halligan, 2008; Tallens Junior et al., 2023). A busca por eficiência, em particular, impõe a necessidade de instrumentos capazes de mensurar a capacidade de converter insumos em produtos de forma otimizada e de maximizar os resultados sociais com os menores custos possíveis, tornando a

avaliação de desempenho um pilar central na gestão pública orientada a resultados (Santos; Schnorrenberger, 2024).

Behn (2003) destaca que a avaliação de desempenho atende a múltiplas finalidades: permite a prestação de contas à sociedade, oferece subsídios para a melhoria contínua da gestão, motiva os servidores públicos ao estabelecer metas claras e orienta a formulação de políticas públicas com base em evidências concretas. Nesse sentido, o uso de métricas objetivas e comparáveis tornou-se um elemento central nas práticas de governança pública orientada a resultados.

No campo específico da infraestrutura, a adoção de instrumentos de avaliação de desempenho ganha ainda mais relevância (Sales; Esteves, 2021). O cumprimento de metas contratuais, a eficiência na utilização dos recursos, a qualidade na prestação dos serviços e o alcance das metas de expansão da rede são aspectos que precisam ser acompanhados e avaliados de forma sistemática (Osborne; Gaebler, 1994). A ausência de competição direta nos setores regulados, como a distribuição de gás natural, reforça a importância de mecanismos de avaliação que simulem, por meio de comparações e *benchmarks*, os incentivos típicos de ambientes concorrenciais (EPE, 2025).

Além de permitir o acompanhamento interno pelas próprias organizações prestadoras de serviço, a avaliação de desempenho também exerce um papel central nas ações das agências reguladoras. Como destacam Bouckaert e Halligan (2008), a capacidade de mensurar resultados é condição necessária para que os órgãos reguladores possam exercer de forma efetiva suas funções de fiscalização, correção de falhas e indução à eficiência.

A tradução dos resultados de avaliação de desempenho em instrumentos operacionais de apoio à decisão constitui, contudo, um desafio persistente na gestão pública. Conforme argumentam Bouckaert e Halligan (2008), a produção de indicadores de desempenho, por si só, não assegura seu uso efetivo nos processos decisórios, fenômeno que os autores denominam "desacoplamento" entre mensuração e gestão. Para que a avaliação de desempenho cumpra sua função gerencial, os indicadores precisam ser estruturados em sistemas integrados de monitoramento, com periodicidade definida, responsabilidades atribuídas e gatilhos de decisão explícitos, de modo que os resultados da mensuração alimentem continuamente o ciclo de planejamento, execução e controle da organização (Behn, 2003).

No contexto de empresas estatais prestadoras de serviços de infraestrutura, essa exigência é reforçada pela Lei nº 13.303/2016 (Brasil, 2016), que determina que as sociedades de economia mista adotem práticas de governança corporativa compatíveis com padrões de transparência e prestação de contas. A construção de painéis de indicadores de desempenho

operacional, alimentados por dados comparativos de eficiência (*benchmarking*), constitui mecanismo alinhado a essa diretriz, ao oferecer ao Conselho de Administração e à Diretoria Executiva uma visão estruturada da posição da empresa em relação às melhores práticas setoriais (Behn, 2003; Bouckaert; Halligan, 2008), informação indispensável para decisões de investimento, revisão de metas contratuais e prestação de contas ao acionista controlador e à sociedade.

Para operacionalizar essa avaliação de forma eficaz, diferentes instrumentos e metodologias têm sido desenvolvidos e aplicados no âmbito da administração pública. Enquanto modelos tradicionais como indicadores de produtividade, análise de custo-benefício e auditorias de desempenho continuam sendo empregados, a complexidade dos serviços de infraestrutura tem demandado abordagens mais robustas e integradas (Bouckaert; Halligan, 2008). A dificuldade em lidar com múltiplos insumos como: capital, mão de obra e materiais e múltiplos produtos como, extensão da rede, número de clientes e qualidade do serviço de forma simultânea tem estimulado o uso de abordagens quantitativas mais sofisticadas, como a Análise Envoltória de Dados (Mendes et al., 2021).

A Análise Envoltória de Dados (DEA), por sua capacidade de avaliar a eficiência relativa de unidades de produção heterogêneas sem a necessidade de definir pesos arbitrários para os insumos e produtos, apresenta-se como metodologia particularmente adequada para mensurar o desempenho de concessionárias de serviços públicos (Garmatz et al., 2021). Essa abordagem permite identificar as melhores práticas e estabelecer *benchmarks* de eficiência capazes de orientar tanto a ação regulatória quanto a gestão pública.

A aplicação da DEA no setor de distribuição de gás natural encontra respaldo em um corpo consistente de evidências empíricas nacionais e internacionais. Revisões internacionais indicam que variáveis como despesas operacionais (OPEX), extensão da rede e investimentos (CAPEX) são amplamente utilizadas como insumos, enquanto o volume de gás distribuído e o número de consumidores figuram como *outputs* representativos da entrega do serviço (Halkos; Tzeremes, 2013; Eller et al., 2011).

No contexto brasileiro, a DEA tem sido empregada como base metodológica em processos regulatórios, especialmente no setor elétrico, subsidiando revisões tarifárias e modelos de regulação por incentivos (Oliveira et al., 2018). Mais recentemente, estudos voltados ao setor de gás natural incorporaram a estrutura em rede e aspectos de governança à análise da eficiência das distribuidoras, reforçando a adequação da metodologia às especificidades institucionais e operacionais do país (Marques et al., 2024).

O conjunto dessas evidências revela um padrão metodológico consistente: a eficiência técnica na distribuição de gás natural é mensurada de forma mais precisa ao confrontar o esforço de investimento e custeio, representado por rede, CAPEX e OPEX, com os resultados de entrega e cobertura, expressos pelo volume distribuído e pelo número de consumidores (Halkos; Tzeremes, 2013; Eller et al., 2011; Marques et al., 2024). Ademais, estudos indicam que comparações diretas de custos, desprovidas de fronteiras de eficiência que considerem retornos variáveis de escala, tendem a penalizar concessionárias de menor porte ou em fase de expansão, justificando a adoção de modelos DEA orientados à mitigação dessas distorções (Nauges; Van Den Berg, 2008). Essa característica justifica a adoção de modelos DEA sob retornos variáveis de escala, uma vez que permitem comparar unidades de diferentes portes sem atribuir diferenças de desempenho exclusivamente aos efeitos da escala operacional (Banker; Charnes; Cooper, 1984).

Conquanto a Análise Envoltória de Dados constitua instrumento robusto para a mensuração da eficiência relativa e a identificação de *benchmarks,* sua aplicação isolada apresenta limitações analíticas relevantes. Coelli et al. (2005) argumentam que os escores de eficiência sintetizam o desempenho técnico das unidades produtivas, mas não elucidam as causas subjacentes às diferenças observadas. Configura-se, assim, uma lacuna explicativa, na medida em que o método não discrimina se a ineficiência decorre de falhas gerenciais endógenas ou de condicionantes ambientais exógenos à organização.

Essa distinção é particularmente crítica em setores regulados marcados por assimetrias estruturais, como o de distribuição de gás natural no Brasil. Ray (2004) ressalta que a comparação direta entre unidades inseridas em contextos socioeconômicos distintos, sem o controle adequado de variáveis ambientais, pode resultar em diagnósticos enviesados, penalizando gestores por fatores alheios à sua governabilidade, como densidade demográfica ou características geográficas da área de concessão. Para que a avaliação de desempenho cumpra sua função regulatória com equidade, torna-se necessário avançar da simples mensuração para a explicação causal dos resultados.

Como resposta a essa exigência metodológica, consolidou-se na literatura a abordagem conhecida como Análise em Dois Estágios (*Two-Stage DEA*). No primeiro estágio, estimam-se os escores de eficiência técnica com base nos insumos e produtos que representam o processo produtivo das unidades analisadas. No segundo estágio, esses escores são utilizados como variável dependente em modelos econométricos destinados a investigar a associação entre a eficiência técnica e variáveis contextuais ou ambientais que, embora não sejam diretamente controladas pela gestão, podem influenciar o desempenho observado (Simar; Wilson, 2007).

O desafio da segunda etapa decorre da natureza limitada dos escores de eficiência, que assumem valores restritos ao intervalo entre zero e um. Nesse contexto, diferentes estratégias metodológicas têm sido empregadas para investigar a associação entre os escores de eficiência e variáveis contextuais. Historicamente, o modelo Tobit (Tobin, 1958) foi amplamente utilizado em análises de segundo estágio da DEA, e Hoff (2007) discute as propriedades de diferentes abordagens de regressão aplicadas a essa finalidade. Entretanto, Simar e Wilson (2007) argumentam que os escores DEA não constituem observações de uma variável latente censurada, além de apresentarem dependência estatística decorrente de sua estimação a partir de uma fronteira comum. Em resposta a essas limitações, os autores propõem a utilização da regressão truncada associada a procedimentos de *bootstrap*, abordagem que produz inferências estatísticas mais consistentes ao incorporar a incerteza inerente à estimação dos escores de eficiência. Em consonância com essa perspectiva metodológica, a presente pesquisa adota a regressão truncada com *bootstrap* proposta por Simar e Wilson (2007), conforme detalhado no Capítulo 3.

Importa destacar, contudo, que a mensuração da eficiência técnica por meio da DEA constitui etapa necessária, mas insuficiente, para a avaliação de desempenho orientada à gestão pública (Coelli et al., 2005). O escore de eficiência identifica a distância entre o desempenho observado e a fronteira de melhores práticas, mas não revela, por si só, as causas gerenciais dessa distância, se decorre de estruturas de custos inadequadas, de limitações na política de investimentos, de condicionantes institucionais ou de características estruturais do mercado atendido (Ray, 2004). Para que a avaliação de eficiência transcenda o diagnóstico quantitativo e se converta em instrumento efetivo de governança, faz-se necessário complementá-la com a contextualização institucional dos resultados e com a tradução dos achados em ferramentas operacionais de apoio à decisão (Bouckaert e Halligan, 2008). É essa articulação entre mensuração, interpretação e aplicação gerencial que orienta o desenho metodológico desta dissertação.

Diante do exposto, e em resposta à necessidade de clareza conceitual, esta pesquisa operacionalizou a noção de desempenho por meio da métrica da eficiência. Embora, conforme destacam Andrade e Cordeiro (2022), o desempenho de uma organização pública possa ser avaliado por múltiplas dimensões, como efetividade, economicidade e qualidade, o foco deste estudo recai sobre a avaliação do desempenho técnico. Assim, para os fins desta dissertação, avaliar o desempenho das distribuidoras de gás natural significa mensurar sua eficiência técnica operacional**,** alinhando o conceito de desempenho à ferramenta analítica adotada (DEA) alinhando o conceito de desempenho à ferramenta analítica adotada (DEA). Ressalva-se,

contudo, que o valor gerencial dessa avaliação reside não no escore em si, mas na capacidade de traduzir os achados quantitativos em implicações concretas para a governança corporativa, a alocação de recursos e o fortalecimento da prestação de contas da concessionária perante o acionista controlador e a sociedade.

A mensuração da eficiência no setor de distribuição de gás natural depende da adequada representação dos recursos mobilizados pelas concessionárias e dos resultados decorrentes de sua operação. Estudos de eficiência e *benchmarking* no setor recorrem a variáveis relacionadas aos custos operacionais, à infraestrutura, aos investimentos e à escala de atendimento, buscando representar diferentes dimensões do processo produtivo das distribuidoras (Marques et al., 2024; Halkos; Tzeremes, 2013). A definição dessas variáveis, contudo, não constitui escolha meramente operacional, uma vez que cada uma representa uma dimensão distinta da atividade e apresenta limitações próprias para a comparação entre concessionárias.

Entre as dimensões relacionadas aos recursos empregados, as despesas operacionais (OPEX) representam os recursos correntes necessários à operação e à manutenção do serviço, enquanto a extensão da rede expressa a infraestrutura física disponibilizada para viabilizar a distribuição do gás canalizado. O CAPEX, por sua vez, representa os investimentos destinados à expansão, modernização e ampliação da capacidade da infraestrutura. Sua utilização na avaliação de eficiência requer considerar que os investimentos realizados em determinado exercício podem produzir efeitos sobre o atendimento em períodos posteriores, de modo que a relação entre investimento e resultado não é necessariamente contemporânea. Essas três dimensões permitem, em conjunto, observar diferentes aspectos dos recursos mobilizados pelas concessionárias: operação, infraestrutura instalada e esforço de investimento.

Do lado dos resultados, o número de consumidores e o volume de gás distribuído representam dimensões distintas da atividade das concessionárias. O número de consumidores expressa o alcance do atendimento proporcionado pela infraestrutura disponível e pode ser influenciado por decisões relacionadas à expansão da rede, à conexão de novos usuários e à atuação comercial, embora também responda às condições econômicas e de mercado. O volume distribuído, por sua vez, representa a intensidade de utilização do serviço, mas é particularmente sensível à composição da carteira de clientes e à presença de grandes consumidores, especialmente industriais. Assim, embora ambas as variáveis sejam relevantes para a compreensão do desempenho das distribuidoras, sua utilização em modelos de eficiência deve considerar o significado econômico e o grau de governabilidade associado a cada uma.

2.6 SÍNTESE INTEGRADORA: DO REFERENCIAL À OPERACIONALIZAÇÃO EMPÍRICA

As cinco seções anteriores percorreram os fundamentos que sustentam esta pesquisa: a infraestrutura como política pública orientada à eficiência, o marco regulatório do gás natural brasileiro e a inserção institucional da SERGAS, os monopólios naturais e o papel da regulação pública, os desafios de eficiência na prestação de serviços de infraestrutura e os instrumentos de avaliação de desempenho no setor público. Esta seção articula esses eixos em um modelo conceitual integrado, explicitando como os fundamentos teóricos se relacionam com as variáveis selecionadas, o papel desempenhado por cada uma delas no modelo empírico e as decisões metodológicas decorrentes.

A lógica que orienta essa articulação parte da *Yardstick Competition* (Shleifer, 1985), segundo a qual, em setores caracterizados por monopólio natural, a comparação do desempenho entre operadores semelhantes pode funcionar como mecanismo de referência na ausência de concorrência direta. Para esta pesquisa, essa perspectiva implica distinguir, analiticamente, os recursos e resultados associados à operação das concessionárias, considerados na construção da fronteira de eficiência, dos condicionantes contextuais que podem contribuir para explicar diferenças nos escores obtidos (Ray, 2004; Simar; Wilson, 2007). O Quadro 2 sintetiza essa relação entre teoria e operacionalização empírica.

Quadro 2 – Modelo conceitual: articulação entre teoria, variáveis e decisões metodológicas

(continua)

Construto teórico	Variável	Expectativa teórica	Decisão metodológica	Fundamento
Eficiência operacional e custos gerenciáveis	OPEX: despesas operacionais gerenciáveis (R$ mil)	Input DEA: recurso operacional considerado na mensuração da eficiência técnica.	Utilizado como insumo. O custo de aquisição do gás é excluído por representar componente predominantemente não gerenciável pela distribuidora.	Farrell (1957); Jamasb e Pollitt (2001)
Intensidade de capital e infraestrutura de rede	Extensão da rede (km)	Input DEA: representa a infraestrutura física disponibilizada para a prestação do serviço.	Utilizada como insumo físico, permitindo avaliar sua conversão em atendimento juntamente com os demais recursos empregados.	Cooper, Seiford e Zhu (2011); Andrade e Soares de Mello (2016)
Investimento e expansão da infraestrutura	CAPEX: investimentos (R$ mil)	Input DEA: representa o fluxo de investimento realizado no período.	Mantido como medida do esforço de investimento. A possibilidade de defasagem entre investimento e resultado é reconhecida como limitação e indicada para pesquisas futuras com séries temporais mais longas.	Estache, Rossi e Ruzzier (2004)
Prestação do serviço e alcance do atendimento	Número de consumidores (unid.)	Output DEA representa o alcance operacional da prestação do serviço.	Adotado como produto do modelo DEA por representar resultado operacional associado à utilização dos recursos e da infraestrutura.	Cooper, Seiford e Zhu (2011); Andrade e Soares de Mello (2016)

(conclusão)

Construto teórico	Variável	Expectativa teórica	Decisão metodológica	Fundamento
Condição econômica do ambiente de atuação	Z1: PIB per capita estadual (R$ mil)	Variável contextual não se estabelece direção unívoca a priori, pois diferentes características econômicas do mercado podem se relacionar de formas distintas com a eficiência.	Incluída no segundo estágio para investigar a associação entre as condições econômicas do estado e os escores de eficiência, sem tratá-la como recurso sob controle gerencial.	Ray (2004); Simar e Wilson (2007)
Concentração espacial da demanda	Z2: Densidade demográfica (hab./km²)	Variável contextual teoricamente, maior concentração espacial da demanda pode favorecer a utilização da infraestrutura e reduzir o esforço de atendimento por usuário.	Incluída no segundo estágio como condicionante geográfico externo à gestão da concessionária.	Jamasb e Pollitt (2001); Ray (2004)
Escala de demanda e utilização do sistema (2.3; 2.4)	Z3: Volume de gás distribuído (milhões m³/ano)	Variável contextual a relação pode variar conforme a escala de operação e a composição do mercado atendido.	Mantido fora da fronteira DEA e incorporado ao segundo estágio para investigar sua associação com os escores, evitando sobreposição com a dimensão de resultado utilizada no primeiro estágio.	Coelli et al. (2005); Ray (2004)

Fonte: Elaborado pela autora (2026), com base em Farrell (1957), Shleifer (1985), Jamasb e Pollitt (2001), Estache, Rossi e Ruzzier (2004), Coelli et al. (2005), Ray (2004), Simar e Wilson (2007), Andrade e Soares de Mello (2016) e Cooper, Seiford e Zhu (2011).

As expectativas teóricas apresentadas no Quadro 2 orientam a interpretação das relações entre as variáveis e a eficiência, sem representar, necessariamente, uma previsão de significância estatística. Nos casos em que a literatura não permite estabelecer uma direção inequívoca para essa relação, optou-se por não definir previamente um sinal esperado. Dessa forma, os resultados encontrados são analisados considerando os respectivos intervalos de confiança e as limitações decorrentes da dimensão da amostra.

O Quadro 2 evidencia a coerência entre o problema teórico e o desenho empírico da pesquisa. OPEX, CAPEX e extensão da rede representam recursos operacionais, financeiros e físicos empregados pelas distribuidoras, enquanto o número de consumidores representa o resultado operacional selecionado para mensurar a capacidade de atendimento. Essas variáveis

compõem a fronteira DEA e permitem comparar a capacidade relativa das concessionárias de transformar recursos em prestação do serviço.

A eficiência observada, entretanto, não é interpretada como resultado exclusivo da atuação gerencial. As concessionárias operam em ambientes econômicos, geográficos e de mercado distintos, razão pela qual PIB per capita, densidade demográfica e volume de gás distribuído são analisados separadamente no segundo estágio. Essa estratégia permite investigar em que medida condições contextuais estão associadas às diferenças nos escores sem incorporá-las diretamente à fronteira como recursos sob controle da gestão.

Dessa forma, o modelo conceitual estabelece a ponte entre os fundamentos discutidos no referencial e as escolhas metodológicas desenvolvidas no capítulo seguinte. A mensuração da eficiência técnica fornece o benchmark comparativo entre concessionárias, enquanto a análise dos condicionantes contextuais qualifica a interpretação dos resultados e reduz o risco de atribuir exclusivamente à gestão diferenças que também podem decorrer das características do ambiente de atuação. Essa arquitetura fornece, ainda, a base teórica para a discussão dos resultados à luz da regulação por desempenho, da governança das empresas estatais e da gestão pública orientada à eficiência.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo de natureza aplicada, com abordagem quantitativa e finalidade descritiva e explicativa, desenvolvido com o propósito de avaliar a eficiência técnica relativa da Sergipe Gás S.A. (SERGAS), em comparação com as demais concessionárias de distribuição de gás natural canalizado sob controle acionário estadual no Brasil, e de investigar a associação entre fatores contextuais e o desempenho observado. O recorte restringe-se às distribuidoras com participação societária de governos estaduais, totalizando onze concessionárias, e exclui as de controle predominantemente privado, de modo a assegurar a homogeneidade institucional necessária à comparação. A partir dessa análise comparativa, os resultados subsidiam o desenvolvimento do Produto Técnico-Tecnológico (PTT) proposto nesta dissertação, voltado ao monitoramento do desempenho da SERGAS.

O delineamento metodológico foi estruturado em duas etapas complementares. Na primeira, procede-se à mensuração da eficiência técnica relativa dessas concessionárias por meio da Análise Envoltória de Dados (Data Envelopment Analysis – DEA), utilizando-se o modelo BCC (Banker, Charnes e Cooper), orientado a insumos e sob retornos variáveis de escala (Variable Returns to Scale – VRS). Na segunda etapa, investigam-se os fatores associados aos escores de eficiência obtidos mediante regressão truncada com procedimento *bootstrap*, conforme a abordagem proposta por Simar e Wilson (2007), permitindo analisar a influência de variáveis contextuais sobre o desempenho das distribuidoras.

Este capítulo apresenta, inicialmente, a natureza e a abordagem da pesquisa, seguidas da estratégia metodológica, da delimitação do campo empírico e das unidades de análise, dos procedimentos de coleta e tratamento dos dados, das técnicas de análise empregadas e, por fim, dos aspectos éticos relacionados à pesquisa.

3.1 NATUREZA DA PESQUISA

Esta pesquisa caracteriza-se como aplicada, por estar orientada à solução de um problema concreto de gestão pública, consistente na avaliação da eficiência técnica das concessionárias estaduais de distribuição de gás natural e na transformação desse conhecimento em um instrumento de apoio à gestão da Sergipe Gás S.A. (SERGAS). Segundo Gil (2022), pesquisas aplicadas têm como finalidade produzir conhecimentos voltados à resolução de

problemas específicos da realidade, contribuindo para o aperfeiçoamento de processos, práticas e decisões organizacionais.

No âmbito do Programa de Mestrado Profissional em Administração Pública em Rede Nacional (PROFIAP), essa classificação mostra-se compatível com a finalidade da pesquisa, uma vez que seus resultados subsidiam o desenvolvimento de um Produto Técnico-Tecnológico (PTT), materializado em um Painel de Indicadores de Eficiência destinado ao monitoramento sistemático do desempenho da concessionária.

Quanto aos objetivos, a pesquisa apresenta natureza descritiva e explicativa (Gil, 2022). É descritiva porque mensura e compara a eficiência técnica relativa (Farrell, 1957) das concessionárias estaduais de distribuição de gás natural, identificando padrões de desempenho observados no conjunto analisado. Simultaneamente, possui caráter explicativo ao investigar a associação entre fatores contextuais e os níveis de eficiência estimados (Simar; Wilson, 2007), buscando compreender aspectos relacionados às diferenças de desempenho entre as distribuidoras.

3.2 ABORDAGEM METODOLÓGICA

A pesquisa adota uma abordagem quantitativa, fundamentada na análise sistemática de dados operacionais, financeiros e estruturais das concessionárias estaduais de distribuição de gás natural. Conforme Creswell (2021), pesquisas quantitativas empregam procedimentos de coleta e análise de dados numéricos para descrever fenômenos, comparar unidades de análise e produzir inferências baseadas em evidências empíricas.

O delineamento metodológico foi estruturado em duas etapas complementares. Na primeira, procedeu-se à mensuração da eficiência técnica relativa das concessionárias. Na segunda, analisaram-se os fatores associados ao desempenho observado. Os procedimentos metodológicos adotados em cada etapa são apresentados detalhadamente na Seção 3.6.

3.3 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

A estratégia metodológica adotada nesta pesquisa fundamenta-se em uma análise quantitativa comparativa das concessionárias estaduais de distribuição de gás natural participantes do conjunto analisado. O delineamento foi concebido para mensurar a eficiência técnica relativa entre unidades organizacionais submetidas a condições institucionais

semelhantes (Farrell, 1957), permitindo a construção de uma fronteira empírica de desempenho e a comparação dos resultados obtidos por cada concessionária.

Diferentemente de pesquisas estruturadas como estudo de caso único, o presente trabalho não se restringe à análise da Sergipe Gás S.A. (SERGAS). A unidade empírica da investigação corresponde ao conjunto das concessionárias estaduais selecionadas para compor a fronteira de eficiência, de modo que a comparação entre essas organizações constitui o elemento central da análise. Essa opção é coerente com a observação de Yin (2018), para quem unidades comparáveis entre si não devem ser tratadas como subunidades incorporadas a um caso único, configurando, antes, um conjunto de organizações analisadas de forma comparativa. Nesse contexto, a SERGAS representa o foco de aplicação gerencial dos resultados, e não o único objeto empírico da pesquisa, uma vez que o Produto Técnico-Tecnológico desenvolvido utiliza os achados da análise comparativa para apoiar o monitoramento do desempenho da concessionária.

A estratégia adotada combina procedimentos de benchmarking e análise de eficiência relativa, possibilitando identificar unidades de referência, padrões comparativos de desempenho e fatores associados aos níveis de eficiência observados. Essa abordagem é compatível com estudos que empregam a Análise Envoltória de Dados (DEA), nos quais a eficiência é estimada de forma relativa a partir da comparação entre unidades homogêneas pertencentes ao mesmo setor de atividade (Cooper; Seiford; Zhu, 2011; Coelli et al., 2005).

Dessa forma, a pesquisa produz evidências quantitativas em nível setorial, cuja aplicação prática concentra-se na realidade da SERGAS, subsidiando a elaboração do Produto Técnico-Tecnológico voltado ao acompanhamento sistemático da eficiência operacional da companhia.

3.4 DELIMITAÇÃO DO CAMPO E UNIDADES DE ANÁLISE

O campo empírico da pesquisa compreende o setor brasileiro de distribuição de gás natural canalizado, com foco nas concessionárias com participação acionária estadual. A pesquisa adota um recorte censitário: são analisadas as concessionárias que atendem ao critério de participação societária de governos estaduais. Essa delimitação fundamenta-se na necessidade de assegurar comparabilidade institucional entre as unidades avaliadas, considerando que a pesquisa investiga a eficiência técnica de organizações submetidas a objetivos públicos, estruturas de governança semelhantes e regimes regulatórios comparáveis.

Com base nesse critério, foram selecionadas 11 concessionárias estaduais, acompanhadas durante o período de 2020 a 2024. A opção por restringir a análise às distribuidoras com participação estatal busca reduzir a heterogeneidade institucional decorrente de diferenças na estrutura de propriedade, nos mecanismos de governança e nos objetivos organizacionais, preservando a homogeneidade recomendada para aplicações da Análise Envoltória de Dados (Dyson et al., 2001; Cooper; Seiford; Zhu, 2011). O Quadro 3 apresenta as onze concessionárias que compõem o conjunto analisado, com a respectiva razão social e unidade da federação de atuação.

Quadro 3 – Concessionárias estaduais analisadas

N	Concessionária	Unidade da Federação
1	ALGÁS – Gás de Alagoas S.A.	AL
2	BAHIAGÁS – Companhia de Gás da Bahia	BA
3	CEGÁS – Companhia de Gás do Ceará	CE
4	CIGÁS – Companhia de Gás do Amazonas	AM
5	COPERGÁS – Companhia Pernambucana de Gás	PE
6	GASMIG – Companhia de Gás de Minas Gerais	MG
7	MSGÁS – Companhia de Gás do Mato Grosso do Sul	MS
8	POTIGÁS – Companhia Potiguar de Gás	RN
9	PBGÁS – Companhia de Gás da Paraíba	PB
10	SCGÁS – Companhia de Gás de Santa Catarina	SC
11	SERGAS – Sergipe Gás S.A.	SE

Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Conforme se observa no Quadro 3, o conjunto abrange concessionárias distribuídas por diferentes regiões do país, todas com participação acionária do respectivo governo estadual, o que assegura a homogeneidade institucional pretendida. Foram excluídas da análise concessionárias integralmente privatizadas durante o período considerado, como a COMPAGÁS (Paraná) e a ES GÁS (Espírito Santo), por apresentarem estrutura de incentivos, mecanismos de *accountability* e objetivos organizacionais distintos daqueles observados nas sociedades de economia mista. A inclusão dessas empresas poderia introduzir heterogeneidade institucional incompatível com a comparação proposta nesta pesquisa.

A unidade de observação adotada corresponde à combinação distribuidora-ano, de modo que o acompanhamento das onze concessionárias ao longo dos cinco anos resultou em 55 observações (DMU-ano). Essas observações foram organizadas em um painel empilhado (*pooled panel*), abordagem na qual as observações de todos os anos são reunidas em um único conjunto para a estimação de uma fronteira de eficiência comum, em contraposição à estimação de fronteiras anuais independentes. A opção justifica-se por dois motivos. Em primeiro lugar, amplia o número de pontos disponíveis para a construção da fronteira de 11 para 55, o que melhora a capacidade de discriminação do modelo e atenua o problema de dimensionalidade

característico de aplicações DEA com poucas unidades (Cooper; Seiford; Zhu, 2011). Em segundo lugar, incorpora simultaneamente a variação entre as distribuidoras e a variação de cada distribuidora ao longo do tempo, reduzindo a sensibilidade da fronteira a oscilações atípicas de anos isolados.

Cabe, contudo, uma distinção rigorosa entre os dois planos da análise. O empilhamento aumenta o número de pontos que definem a fronteira DEA, mas não converte as cinco observações de uma mesma empresa em cinco unidades estatisticamente independentes: por pertencerem à mesma firma, essas observações compartilham características estruturais persistentes e apresentam dependência temporal, o que configura risco de pseudo-replicação. Assume-se, ademais, uma tecnologia de produção comum e estável no período, hipótese compatível com o horizonte relativamente curto (2020–2024) e com a homogeneidade institucional do recorte. Desse modo, os 55 DMU-ano operam como referência para a estimação da fronteira, ao passo que as onze concessionárias permanecem como as unidades efetivamente independentes para fins de inferência. Essa dependência é explicitamente acomodada na segunda etapa, na qual a regressão truncada com *bootstrap* de Simar e Wilson (2007) é conduzida respeitando a estrutura de painel dos dados, e não pelo simples aumento do número bruto de observações.

A utilização de uma única fronteira empilhada pressupõe a adoção de uma tecnologia de referência comum ao período de análise, hipótese sustentada pela curta extensão do intervalo (2020–2024) e pela evolução gradual da tecnologia na atividade de distribuição por rede (Thanassoulis; Portela; Despić, 2008). Para assegurar a comparabilidade monetária entre os exercícios, as variáveis financeiras utilizadas na estimação da eficiência foram previamente deflacionadas para preços constantes de 2024 pelo Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA). Reconhece-se, ainda, que essa especificação não permite isolar, na própria estimação da fronteira comum, eventuais deslocamentos da fronteira tecnológica ocorridos ao longo do período. Essa limitação é examinada empiricamente por meio do índice de Malmquist, apresentado na seção de robustez, e é considerada entre as limitações do estudo.

Nesse delineamento, a SERGAS integra o conjunto das concessionárias utilizadas na estimação da fronteira de eficiência, não constituindo uma unidade analisada de forma isolada. Sua posição relativa às demais distribuidoras fornece o fundamento empírico para o desenvolvimento do Produto Técnico-Tecnológico, concebido para traduzir os achados da análise comparativa em um instrumento de monitoramento sistemático do desempenho da companhia, em alinhamento com a finalidade aplicada do mestrado profissional.

3.5 INSTRUMENTOS DE COLETA

A pesquisa utiliza dados secundários, obtidos em bases públicas e institucionais, selecionadas em razão de sua abrangência, confiabilidade e aderência aos objetivos do estudo. Segundo Gil (2022), a utilização de dados secundários mostra-se adequada em pesquisas quantitativas que investigam fenômenos organizacionais e setoriais, especialmente quando as informações são produzidas por instituições oficiais e submetidas a procedimentos formais de validação e divulgação.

A base principal da pesquisa foi constituída por informações operacionais, financeiras e estruturais das concessionárias estaduais de distribuição de gás natural, referentes ao período de 2020 a 2024. As informações foram obtidas a partir dos relatórios disponibilizados pelas agências reguladoras estaduais, demonstrações financeiras auditadas, relatórios anuais das concessionárias e bases estatísticas oficiais, permitindo a construção de uma base padronizada para a estimação da eficiência técnica.

As variáveis econômicas utilizadas na segunda etapa da análise foram obtidas em bases oficiais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE**)**, por meio do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA), assegurando uniformidade metodológica e comparabilidade entre os estados analisados. As informações referentes ao mercado de gás natural, extensão das redes e características operacionais das distribuidoras foram obtidas em documentos institucionais das concessionárias.

Após a consolidação das informações, os dados passaram por procedimentos de conferência, padronização e auditoria, contemplando a verificação de consistência entre as diferentes fontes, identificação de valores ausentes, análise de duplicidades e conferência da coerência temporal das séries utilizadas.

A organização da base de dados resultou em um painel composto por 55 observações (DMU-ano), correspondente ao acompanhamento de 11 concessionárias estaduais durante o quinquênio 2020–2024. Essa base constituiu o conjunto de dados empregado tanto na estimação dos escores de eficiência quanto na análise dos fatores associados ao desempenho das distribuidoras.

3.6 TÉCNICAS DE ANÁLISE

A análise dos dados foi desenvolvida por meio de técnicas quantitativas de natureza não paramétrica, organizadas em etapas complementares, de forma a permitir a mensuração da

eficiência técnica relativa das concessionárias estaduais de distribuição de gás natural e a investigação dos fatores associados ao desempenho observado. Inicialmente, realizou-se a caracterização da base de dados por meio de estatística descritiva. Em seguida, procedeu-se à estimação dos escores de eficiência utilizando a Análise Envoltória de Dados. Na sequência, investigou-se a associação entre variáveis contextuais e os níveis de eficiência estimados mediante regressão truncada com procedimento *bootstrap*, conforme a abordagem proposta por Simar e Wilson (2007). Por fim, realizaram-se análises de robustez destinadas a avaliar a estabilidade das estimativas e a consistência dos resultados obtidos.

3.6.1 Estatística descritiva

Antes da estimação dos modelos de eficiência, realizou-se a caracterização estatística da base de dados, com o objetivo de descrever o comportamento das variáveis operacionais, financeiras e contextuais utilizadas na pesquisa. Essa etapa permitiu sintetizar as características do conjunto de dados e fornecer uma visão geral da variabilidade observada entre as concessionárias e ao longo do período analisado.

Para as variáveis empregadas na primeira e na segunda etapa da pesquisa, foram calculadas medidas de tendência central e de dispersão, compreendendo média, mediana, desvio-padrão, valores mínimo e máximo e coeficiente de variação. O coeficiente de variação, por expressar a dispersão de forma relativa à média, permite comparar a variabilidade entre variáveis medidas em unidades distintas, como despesas em reais, extensão de rede em quilômetros e número de consumidores em unidades. Essas estatísticas subsidiaram a interpretação inicial da base e permitiram identificar a amplitude e a heterogeneidade dos indicadores utilizados na análise de eficiência.

Complementarmente, antes da estimação dos modelos, a base de dados foi submetida a procedimentos de auditoria e controle de qualidade, contemplando a verificação da integridade estrutural das planilhas, da consistência entre as bases utilizadas na primeira e na segunda etapa, da existência de valores ausentes, da plausibilidade dos valores observados, da correspondência entre as concessionárias e os períodos analisados e da reprodutibilidade das variáveis derivadas. Avaliou-se, ainda, a colinearidade entre as variáveis contextuais por meio do Fator de Inflação da Variância (*Variance Inflation Factor* – VIF), medida que quantifica o grau de correlação de cada variável explicativa com as demais e cujos valores elevados indicariam redundância informacional entre elas (Hair et al., 2009). Não foram identificados indícios de multicolinearidade relevante.

Em razão da utilização de uma fronteira DEA estimada para o período de 2020 a 2024, as variáveis monetárias (OPEX e CAPEX) foram previamente convertidas para preços constantes de 2024 mediante deflação pelo Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), divulgado pelo IBGE, preservando a comparabilidade intertemporal dos valores financeiros empregados na análise.

Os resultados da estatística descritiva são apresentados no Capítulo 4 e servem de base para a interpretação das análises de eficiência técnica e dos fatores contextuais associados ao desempenho das concessionárias.

3.6.2 Mensuração da eficiência técnica por meio da DEA

A mensuração da eficiência técnica das concessionárias foi realizada por meio da Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis* – DEA), método não paramétrico de programação matemática introduzido por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), a partir do conceito de eficiência produtiva proposto por Farrell (1957). A DEA permite avaliar o desempenho relativo de unidades homogêneas (*Decision Making Units* – DMUs), comparando a capacidade de transformar múltiplos insumos em produtos sem a necessidade de especificar previamente uma função de produção.

Diferentemente das abordagens econométricas paramétricas, a DEA constrói uma fronteira eficiente a partir das melhores práticas observadas no conjunto analisado, utilizando técnicas de programação linear para identificar as unidades que apresentam desempenho relativamente superior. As demais DMUs têm sua eficiência mensurada em relação a essa fronteira, permitindo estimar o potencial de redução de insumos ou ampliação dos produtos necessários para alcançar níveis equivalentes de desempenho (Cooper; Seiford; Zhu, 2011).

A escolha da DEA justifica-se pela natureza do problema investigado. A avaliação da eficiência das concessionárias estaduais de distribuição de gás natural envolve múltiplos recursos empregados e resultados produzidos, cuja relação dificilmente pode ser representada por uma função de produção única. Nesse contexto, a DEA constitui uma abordagem consolidada para análises comparativas de desempenho em organizações prestadoras de serviços públicos e setores regulados, sendo amplamente utilizada em estudos sobre infraestrutura, energia, saneamento e transporte (Coelli et al., 2005; Cooper; Seiford; Zhu, 2011).

Além da mensuração da eficiência relativa, a DEA possibilita identificar as unidades que compõem a fronteira eficiente e estabelecer referências (*benchmarks*) para as

concessionárias com desempenho inferior. Dessa forma, a técnica não apenas estima escores de eficiência, mas também subsidia a identificação de oportunidades de melhoria e o estabelecimento de parâmetros comparativos de desempenho, aspecto compatível com o propósito desta pesquisa de apoiar o monitoramento gerencial da SERGAS por meio do Produto Técnico-Tecnológico desenvolvido.

3.6.3 Especificação do modelo DEA

A mensuração da eficiência técnica das concessionárias foi realizada por meio do modelo BCC (Banker, Charnes e Cooper, 1984), orientado a insumos (input-oriented) e sob a hipótese de Retornos Variáveis de Escala (Variable Returns to Scale – VRS), pressuposto segundo o qual a relação entre insumos e produção não é necessariamente proporcional, reconhecendo que distribuidoras de diferentes portes operam em condições de escala distintas. Essa especificação foi selecionada por permitir comparar organizações que operam sob diferentes escalas de atuação, estimando a chamada eficiência técnica pura, isto é, a eficiência que decorre da gestão dos recursos, isolada do efeito do porte da distribuidora (Banker; Charnes; Cooper, 1984).

A adoção do modelo BCC mostra-se adequada ao setor brasileiro de distribuição de gás natural, caracterizado pela coexistência de concessionárias com diferentes extensões de rede, número de consumidores, níveis de investimento e estruturas operacionais. Nessas condições, a hipótese de retornos constantes de escala, assumida pelo modelo CCR (Charnes, Cooper e Rhodes, 1978), poderia produzir estimativas enviesadas ao atribuir diferenças de desempenho exclusivamente à eficiência técnica, quando parte dessas diferenças decorre da própria escala de operação. O modelo BCC supera essa limitação ao admitir retornos variáveis de escala, permitindo que cada distribuidora seja comparada com unidades de porte compatível (Banker; Charnes; Cooper, 1984).

A opção pela orientação a insumos fundamenta-se nas características da gestão das concessionárias de distribuição de gás natural. Embora essas organizações desenvolvam ações voltadas à expansão do mercado consumidor, parcela significativa da demanda depende de fatores econômicos e demográficos que escapam ao controle direto da administração. Em contrapartida, a gestão possui maior capacidade de atuação sobre os recursos empregados na prestação do serviço, como despesas operacionais, investimentos e infraestrutura de distribuição. Assim, a orientação a insumos mostra-se mais compatível com o espaço discricionário de decisão das concessionárias, ao avaliar a possibilidade de reduzir

proporcionalmente os recursos utilizados para um determinado nível de atendimento (Coelli Et Al., 2005; Cooper; Seiford; Zhu, 2011).

A especificação adotada também decorre da necessidade de compatibilizar a primeira etapa da pesquisa com a análise dos determinantes da eficiência realizada na segunda etapa. Conforme Simar e Wilson (2007), procedimentos de inferência baseados em regressão truncada com *bootstrap* requerem a utilização de escores DEA obtidos por modelos radiais, condição atendida pela formulação BCC orientada a insumos empregada nesta pesquisa. Essa escolha assegura coerência metodológica entre as etapas de mensuração da eficiência e de investigação dos fatores associados ao desempenho das concessionárias.

A eficiência técnica foi estimada por meio de programação linear, sendo expressa por um escore compreendido entre zero e um, no qual valores iguais a um indicam unidades posicionadas sobre a fronteira eficiente e valores inferiores a um representam níveis relativos de ineficiência em comparação às melhores práticas observadas no conjunto analisado.

A mensuração da eficiência técnica pura pelo modelo radial BCC, com orientação a insumos (input-oriented) e retornos variáveis de escala (VRS), busca determinar a máxima contração proporcional aplicável ao vetor de insumos de uma determinada unidade produtiva (a DMU avaliada), mantendo fixo o seu nível de produção. Matematicamente, para um conjunto de n unidades tomadoras de decisão, em que cada uma utiliza m insumos para produzir s produtos, o problema de programação linear na forma envelope para a DMU sob avaliação é especificado conforme a Equação 1.

$$min\ \theta$$

sujeito a:

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij} \leq \theta x_{io}, \quad i = 1,2,\dots,m$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj} \geq y_{ro}, \quad r = 1,2,\dots,s$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j \geq 0, \quad j = 1,2,\dots,n$$

Em que:

θ representa o escore de eficiência técnica da DMU sob avaliação;

x_{ij} representa a quantidade do insumo i utilizada pela DMU j;

y_{rj} representa a quantidade do produto r produzida pela DMU j;

x_{io} e y_{ro} representam, respectivamente, os insumos e os produtos da DMU sob avaliação;

λ_j corresponde aos pesos atribuídos às DMUs de referência na construção da fronteira eficiente;

m, s e n denotam, respectivamente, o número de insumos, de produtos e de unidades avaliadas;

$\sum_{j=1}^{n} \quad \lambda_j = 1$ caracteriza a hipótese de Retornos Variáveis de Escala (VRS), permitindo que a comparação entre as unidades ocorra independentemente de diferenças de porte operacional.

O modelo busca o menor valor de θ que permita, combinando as demais distribuidoras por meio dos pesos λ, reproduzir pelo menos o mesmo nível de atendimento da unidade avaliada utilizando uma fração θ de seus insumos. Um valor de θ igual a um indica que nenhuma combinação de pares consegue produzir o mesmo resultado com menos recursos, ou seja, a unidade está sobre a fronteira; um valor de θ inferior a um indica a proporção à qual os insumos poderiam ser reduzidos.

Embora o modelo radial estime a eficiência por meio da redução proporcional dos insumos, a interpretação dos resultados foi complementada pela análise das folgas (*slacks*), utilizadas exclusivamente como instrumento auxiliar para identificar excessos específicos de recursos não capturados integralmente pelo escore radial de eficiência. As folgas, contudo, não constituem o critério de mensuração da eficiência nesta pesquisa, diferentemente do que ocorre nos modelos baseados em Slacks-Based Measure (SBM).

A opção pelo modelo radial, e não por formulações baseadas em folgas (SBM; TONE, 2001), decorre de exigência do procedimento de segunda etapa de Simar e Wilson (2007), que opera sobre escores radiais. As folgas são lidas como diagnóstico complementar, para recuperar ineficiências específicas por dimensão que o ajuste proporcional não evidencia, e não como critério de mensuração da eficiência.

3.6.4 Seleção das variáveis da primeira etapa

Definido o conjunto de unidades de análise e a estrutura de painel na Seção 3.4, esta seção detalha a seleção das variáveis de insumo e produto empregadas na estimação da eficiência técnica. A escolha observou dois princípios fundamentais da literatura DEA

representatividade do processo produtivo e parcimônia do modelo (Cooper; Seiford; Zhu, 2011; Dyson et al., 2001), elegendo variáveis capazes de representar os principais recursos empregados pelas concessionárias e o resultado diretamente associado à prestação do serviço público de distribuição de gás natural. Como a validade dos escores depende diretamente da adequada representação do processo produtivo (Dyson et al., 2001).

O modelo emprega três variáveis de insumo as despesas operacionais (OPEX), a extensão da rede de distribuição e os investimentos (CAPEX) e uma variável de produto o número de consumidores atendidos. Os insumos representam os recursos consumidos na prestação do serviço, ao passo que o produto expressa o resultado dela decorrente; cada variável é detalhada e justificada a seguir.

I1 — Despesas Operacionais (OPEX), em reais

Esta variável representa os custos operacionais recorrentes e gerenciáveis da distribuidora, abrangendo despesas com pessoal, materiais, serviços de terceiros, manutenção e atividades administrativas, excluído o custo de aquisição do gás natural. O OPEX é adotado como proxy do esforço gerencial, por refletir diretamente as decisões operacionais e organizacionais sob controle da concessionária, constituindo indicador central da eficiência na gestão dos custos correntes (Cooper; Seiford; Zhu, 2011; Marques et al., 2024).

Uma decisão metodológica que merece explicitação é a exclusão do custo de aquisição do gás natural da variável de despesas operacionais (OPEX). Embora o custo do gás represente parcela expressiva dos dispêndios totais de uma distribuidora, trata-se de um custo de repasse contratual (pass-through), determinado por contratos de suprimento firmados com produtores e por tarifas de transporte reguladas, sobre os quais a distribuidora não exerce controle gerencial direto. Em termos regulatórios, esse custo é integralmente repassado à tarifa final do consumidor, não constituindo, portanto, uma dimensão da eficiência operacional da concessionária.

Sua inclusão no modelo distorceria a avaliação, pois penalizaria distribuidoras que operam em estados com custos de suprimento mais elevados, fator determinado pela localização geográfica em relação às fontes de produção e pela configuração dos gasodutos de transporte e beneficiaria aquelas que, por proximidade aos campos produtores, acessam o insumo a custos menores, independentemente de qualquer mérito gerencial. Essa exclusão é coerente com a própria estrutura regulatória do setor: o preço do gás adquirido pelas distribuidoras compõe-se da parcela da molécula, que remunera o produtor, e da tarifa de transporte, cuja definição compete à Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), nos termos da Lei nº 14.134/2021 (ANP, 2021). Tais parcelas são determinadas em âmbito federal e por

contratos de suprimento, e não pela gestão da concessionária estadual, que as repassa à tarifa final do consumidor. A literatura de benchmarking regulatório em setores de rede corrobora o tratamento de custos não gerenciáveis dessa natureza, recomendando sua exclusão da base sobre a qual se avalia a eficiência operacional (Jamasb; Pollitt, 2001). A variável OPEX utilizada nesta pesquisa contempla, assim, exclusivamente os custos sobre os quais a gestão da distribuidora tem poder de decisão: pessoal, materiais, serviços de terceiros, publicidade, manutenção e demais despesas administrativas e operacionais (Laffont; Tirole, 1993).

I2 — Extensão da Rede de Distribuição, em quilômetros

Esta variável representa a principal proxy do capital físico (capital stock) empregado pela concessionária, refletindo a dimensão da infraestrutura instalada que deve ser operada, mantida e expandida ao longo do tempo. A extensão da rede é elemento estrutural central na atividade de distribuição, uma vez que condiciona diretamente o nível de custos operacionais, a complexidade da operação e as necessidades de investimento. Sua inclusão é indispensável para capturar as diferenças de escala entre as concessionárias: redes mais extensas demandam, naturalmente, maior volume de insumos para manutenção e operação, independentemente do desempenho gerencial. Ao controlar o efeito do tamanho da infraestrutura, o modelo impede que concessionárias de menor porte aparentem níveis artificialmente elevados de eficiência apenas por operarem em sistemas mais compactos (Cooper; Seiford; Zhu, 2011).

I3 — Investimentos (CAPEX), em reais

Esta variável corresponde aos investimentos realizados no período com vistas à manutenção, modernização e expansão da rede de distribuição. O CAPEX reflete o esforço de alocação de recursos financeiros e gerenciais destinados à ampliação da capacidade produtiva e à sustentabilidade de longo prazo da operação, elemento central em setores intensivos em capital como o de distribuição de gás natural (Estache; Rossi; Ruzzier, 2004). Em contextos regulados, investimentos realizados no presente não se traduzem imediatamente em aumento proporcional de atendimento, mas constituem condição necessária para a expansão futura da rede; desconsiderar essa variável tenderia a penalizar concessionárias em fase de crescimento ou modernização, que deliberadamente assumem maiores dispêndios no curto prazo (Laffont; Tirole, 1993).

Reconhece-se que a utilização do CAPEX corrente implica limitação analítica, na medida em que investimentos em infraestrutura de rede apresentam maturação de longo prazo, cujos efeitos sobre a base de consumidores podem manifestar-se apenas em períodos subsequentes (Estache; Rossi; Ruzzier, 2004). Alternativas como a adoção do Ativo Imobilizado Líquido como proxy do estoque de capital ou a aplicação de defasagem temporal

(time lag) ao CAPEX foram consideradas no desenho da pesquisa. Contudo, a heterogeneidade dos critérios contábeis entre as concessionárias, particularmente quanto à depreciação e à reavaliação de ativos, comprometeria a comparabilidade do Ativo Imobilizado Líquido entre as DMUs; e a defasagem temporal reduziria o número de observações de um painel já restrito a cinco anos, impactando a estabilidade da fronteira. Optou-se, assim, pela manutenção do CAPEX corrente, decisão respaldada pela literatura setorial (Halkos; Tzeremes, 2013; Marques et al., 2024) e pela mitigação parcial do viés de maturação proporcionada pelo modelo BCC-VRS, que, ao operar sob retornos variáveis de escala, controla parcialmente os efeitos de escala associados a fases distintas de investimento. Essa limitação é reconhecida e indicada como agenda de pesquisa futura, na qual séries históricas mais longas viabilizariam a incorporação de defasagens temporais ao modelo.

O1 — Número de Consumidores, em unidades

Mensurado pelo total de clientes atendidos pela concessionária, segmentos residencial, comercial, industrial e demais categorias, o número de consumidores constitui o produto único do modelo, representando a capilaridade da rede de distribuição e o grau de penetração da concessionária em seu mercado de atuação, por refletir diretamente o alcance da prestação do serviço público e a capacidade de converter recursos operacionais e investimentos em atendimento efetivo à população (Cooper; Seiford; Zhu, 2011; Halkos; Tzeremes, 2013; Marques et al., 2024).

A opção por utilizar exclusivamente o número de consumidores como produto, deslocando o volume de gás distribuído para a segunda etapa como variável contextual, atende a dois requisitos simultâneos. Em primeiro lugar, assegura conformidade com as regras de dimensionalidade da DEA: com 11 DMUs e 4 variáveis (3 insumos + 1 produto), o modelo satisfaz o critério de Banker et al. (1989) e o mínimo absoluto ($m + s + 1$), ainda que fique marginalmente abaixo da regra mais conservadora de Cooper, Seiford e Tone (2007), que sugere $3 \times (m + s) = 12$ DMUs, limiar frequentemente considerado excessivamente restritivo para setores com universo naturalmente reduzido de operadores (Cooper; Seiford; Zhu, 2011). A adoção do painel empilhado, ao elevar o número de observações de 11 para 55, atenua substancialmente essa restrição.

Em segundo lugar, a realocação do volume de gás justifica-se conceitualmente: em mercados concentrados, o volume distribuído é fortemente condicionado pela presença de grandes consumidores industriais, pelas condições econômicas regionais e pelas características estruturais do mercado de atuação, fatores exógenos à gestão operacional da distribuidora. Sua utilização como produto poderia atribuir diferenças de eficiência a condições de demanda, e

não à capacidade gerencial das distribuidoras (Jamasb; Pollitt, 2001). Ao tratá-lo como determinante contextual na segunda etapa, a análise distingue o esforço gerencial endógeno, captado pela DEA, dos condicionantes estruturais de mercado, examinados na etapa seguinte, em consonância com a abordagem em dois estágios recomendada por Coelli et al. (2005) e Simar e Wilson (2007).

Reconhece-se que o número de consumidores também responde a condições de demanda, e não apenas a decisões de gestão. Optou-se por mantê-lo como produto por ser a variável mais diretamente associada às decisões de expansão da rede e de conexão de novos usuários, ao passo que o volume distribuído depende, em maior medida, da presença de grandes consumidores industriais e do ciclo econômico regional. Para avaliar a sensibilidade dessa escolha, a primeira etapa foi reestimada em três especificações alternativas: (a) consumidores e volume como dois produtos; (b) volume como único produto; e (c) volume médio por consumidor. Os resultados, apresentados no Apêndice F, indicam que a SERGAS permanece em primeira posição nas três (escore médio de 1,000 em (a), 0,967 em (b) e 0,962 em (c)), o que mostra que o posicionamento não depende da exclusão do volume da fronteira. A ordem das demais distribuidoras se altera: nas especificações (b) e (c), PBGÁS e CIGÁS passam à segunda e à terceira posições e a ALGÁS cai para a quarta.

O Quadro 4 sintetiza as variáveis de insumo e produto empregadas na primeira etapa, apresentando, para cada uma, a unidade de medida, a justificativa metodológica e as respectivas referências.

Quadro 4 – Insumos (*inputs*) e produtos (*outputs*) utilizados no modelo DEA para distribuidoras de gás natural

Categoria	Código	Variável	Unidade	Justificativa Metodológica	Referência
Insumos (Inputs)	I1	Despesas Operacionais (OPEX)	R$ (preços constantes de 2024)	Custos gerenciáveis da operação (pessoal, materiais, serviços, publicidade etc.), excluindo o custo do gás (não gerenciável). Indica eficiência na gestão dos custos correntes.	Cooper, Seiford e Zhu (2011); Marques et al. (2024)
Insumos (Inputs)	I2	Extensão da Rede de Distribuição	km	Principal proxy do capital físico (ativo) empregado. Representa a infraestrutura que precisa ser mantida e operada.	Cooper, Seiford e Zhu (2011)
Insumos (Inputs)	I3	Investimentos (CAPEX)	R$ (preços constantes de 2024)	Investimentos anuais para manutenção e expansão da rede. Indica esforço de melhoria e crescimento da infraestrutura, consumindo recursos financeiros e gerenciais.	Estache, Rossi e Ruzzier (2004)
Produtos (Outputs)	O1	Número de Consumidores	unidades	Número total de clientes atendidos (residenciais, comerciais, industriais etc.). Representa a capilaridade da rede e a penetração no mercado, refletindo a expansão do acesso ao serviço.	Cooper, Seiford e Zhu (2011)

Fonte: Elaborado pela autora (2026).
Nota: Os valores monetários (I1 e I3) foram deflacionados para preços constantes de 2024 pelo IPCA/IBGE.

A combinação desses insumos e produtos permite avaliar a eficiência técnica das concessionárias, considerando simultaneamente o uso de recursos operacionais e de capital e a capacidade de atendimento e expansão do serviço.

3.6.5 Regressão truncada com bootstrap (Simar e Wilson)

Após a estimação dos escores de eficiência técnica por meio da Análise Envoltória de Dados (DEA), procedeu-se à investigação dos fatores associados ao desempenho relativo das concessionárias. Embora a DEA permita identificar quais unidades operam mais próximas da fronteira eficiente, seus resultados não explicam por que determinadas organizações apresentam níveis de eficiência superiores aos das demais. Por essa razão, a literatura recomenda a realização de uma segunda etapa destinada à análise da associação entre os escores de eficiência e variáveis contextuais potencialmente relacionadas ao desempenho observado (Simar; Wilson, 2007). Cabe destacar, desde já, que esta segunda etapa tem caráter associativo e exploratório, não causal: busca-se identificar fatores contextuais estatisticamente associados aos níveis relativos de eficiência, sem pretensão de estabelecer relações de causa e efeito entre esses fatores e o desempenho das concessionárias.

Historicamente, estudos de eficiência frequentemente empregaram modelos Tobit para essa finalidade, sob o argumento de que os escores DEA estariam limitados ao intervalo entre zero e um (Tobin, 1958). Entretanto, Simar e Wilson (2007) argumentam que essa abordagem apresenta limitações metodológicas, uma vez que os escores DEA não constituem uma variável censurada, mas estimativas geradas por um procedimento de programação matemática, sujeitas à dependência serial e ao viés de estimação inerente à construção da fronteira eficiente. Nessas condições, a aplicação direta da regressão Tobit pode produzir inferências estatísticas inconsistentes.

Em razão dessas limitações, esta pesquisa adota o procedimento proposto por Simar e Wilson (2007), baseado em regressão truncada com *bootstrap*, considerado uma das abordagens mais consolidadas para a segunda etapa em estudos de eficiência. O método combina a estimação de uma regressão truncada com procedimentos de reamostragem (*bootstrap*), permitindo corrigir parcialmente o viés dos escores DEA e obter erros-padrão e intervalos de confiança mais consistentes para os coeficientes estimados.

Um cuidado adicional é exigido pela estrutura de painel dos dados. Como cada concessionária é observada em cinco anos consecutivos, as observações de uma mesma empresa não são independentes entre si, o que caracteriza dependência intra-empresa e reduz o

número efetivo de unidades independentes das 55 observações para as 11 concessionárias. O algoritmo canônico de Simar e Wilson (2007), em sua formulação original, não contempla explicitamente essa dependência de painel, o que motiva os procedimentos complementares descritos a seguir.

Na regressão de segunda etapa, a variável dependente, isto é, o fenômeno que se busca explicar, corresponde aos escores de eficiência técnica obtidos na primeira etapa da pesquisa, enquanto as variáveis independentes, ou explicativas, são os fatores contextuais cuja associação com a eficiência se pretende investigar (Gujarati; Porter, 2011). Tais fatores correspondem a características estruturais e econômicas das concessionárias e de seus respectivos mercados de atuação, selecionadas por representarem dimensões do ambiente operacional que escapam ao controle direto da gestão, mas que podem estar associadas ao desempenho observado (Ray, 2004). O objetivo dessa etapa não consiste em reestimar a eficiência das distribuidoras, mas em investigar a associação entre fatores contextuais e os níveis relativos de eficiência observados. Foram consideradas três variáveis contextuais, detalhadas a seguir.

Para acomodar a dependência intra-empresa, adota-se como especificação principal a regressão truncada com *bootstrap* de Simar e Wilson (2007) na variante de reamostragem por *cluster (cluster bootstrap*), na qual a reamostragem é conduzida ao nível da concessionária, e não da observação individual, preservando a estrutura de correlação entre os anos de uma mesma firma. Como análises de sensibilidade, os resultados são confrontados com estimativas de erros-padrão robustos a *cluster* com a correção de pequena amostra CR2 e com o *wild cluster bootstrap*, procedimentos recomendados quando o número de *clusters* é reduzido (Cameron; Miller, 2015), como é o caso das onze concessionárias. Essas abordagens complementares não substituem a estimativa principal; destinam-se a verificar a estabilidade dos coeficientes e da significância estatística frente ao pequeno número de unidades independentes, reforçando a leitura cautelosa dos achados do segundo estágio.

PIB per capita estadual (dimensão econômica)

O Produto Interno Bruto (PIB) per capita da unidade federativa de atuação, que corresponde ao valor da produção econômica do estado por habitante, foi adotado como indicador do nível de desenvolvimento econômico do mercado atendido. Espera-se que estados economicamente mais desenvolvidos apresentem maior demanda potencial por gás natural, nos segmentos industrial, comercial e residencial, o que poderia relacionar-se ao desempenho das distribuidoras (Jamasb; Pollitt, 2001). A variável foi obtida junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), por meio do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA).

Os valores de 2020 a 2023 correspondem a dados oficiais. Como o PIB per capita estadual de 2024 ainda não havia sido divulgado pelo IBGE na data da coleta, o valor desse ano foi estimado, para cada estado, por reta de regressão linear simples, ajustada pelo método dos mínimos quadrados ordinários à série de 2020 a 2023 e extrapolada para 2024. Por tratar-se de valor estimado, e não observado, a segunda etapa foi também reestimada sem o ano de 2024 (44 observações), conforme apresentado no Apêndice F.

Densidade demográfica estadual (dimensão geográfica)

A densidade demográfica estadual (número de habitantes por quilômetro quadrado do território) capta a dispersão espacial do mercado atendido. Mercados mais densos tendem a permitir maior aproveitamento da infraestrutura de rede, com mais consumidores por quilômetro de tubulação, ao passo que mercados dispersos impõem custos operacionais mais elevados por unidade atendida, fator alheio à gestão da concessionária (Ray, 2004). A variável foi obtida junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), por meio do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA).

Volume de gás distribuído (dimensão de mercado)

O volume de gás distribuído, conforme discutido na Seção 3.6.4, é fortemente condicionado pela presença de grandes consumidores industriais e pela estrutura do mercado regional, constituindo característica estrutural exógena à gestão operacional. Por essa razão, foi deslocado da fronteira DEA e incorporado à segunda etapa como variável contextual, permitindo investigar sua associação com os escores de eficiência. A informação foi obtida junto à Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP).

O Quadro 5 sintetiza as variáveis contextuais empregadas na segunda etapa, com suas dimensões, unidades e fontes.

Quadro 5 – Variáveis contextuais utilizadas na segunda etapa

Variável	**Dimensão**	**Unidade**	**Fonte**
PIB per capita estadual	Econômica	R$	IBGE (SIDRA)
Densidade demográfica	Geográfica	hab/km²	IBGE (SIDRA)
Volume de gás distribuído	Mercado	mil m³/ano	Concessionárias de gás

Fonte: Elaborado pela autora (2026).

As três variáveis apresentadas no Quadro 5, ao captarem dimensões econômica, geográfica e de mercado do ambiente de atuação, permitem investigar em que medida o desempenho das concessionárias está associado a condições contextuais alheias à sua gestão, sem que tais fatores sejam incorporados à fronteira de eficiência como recursos sob controle da administração.

Quanto à especificação técnica, o procedimento seguiu o Algoritmo 2 de Simar e Wilson (2007), indicado para a inferência sobre os determinantes da eficiência. Em síntese, o algoritmo estima inicialmente os escores de eficiência por DEA; corrige seu viés por meio de reamostragem (*bootstrap*), obtendo escores de ineficiência corrigidos (*bias-corrected*); e, sobre esses escores corrigidos, estima uma regressão truncada das variáveis contextuais, cujos intervalos de confiança são construídos por um segundo *bootstrap*. Na implementação adotada, empregaram-se 100 réplicas para a etapa de correção de viés e 2.000 réplicas para a construção dos intervalos de confiança, com truncamento à esquerda compatível com o domínio da ineficiência.

Considerando que as 55 observações derivam de apenas 11 concessionárias acompanhadas ao longo de cinco anos, a inferência baseada exclusivamente no intervalo nativo do *bootstrap*, que trata as observações como independentes, tenderia a subestimar a incerteza, por ignorar a correlação entre observações de uma mesma distribuidora. Por essa razão, os resultados foram submetidos a duas vias adicionais de inferência, indicadas na literatura para contextos com poucos agrupamentos (Cameron; Miller, 2015): a correção de pequena amostra CR2, com graus de liberdade de Satterthwaite, e o *wild cluster bootstrap*, com pesos de Rademacher e imposição da hipótese nula. A comparação entre as diferentes vias de inferência, apresentada no Capítulo 4, constitui elemento central da leitura dos resultados da segunda etapa.

O procedimento de Simar e Wilson (2007) pressupõe separabilidade entre o espaço de insumos e produtos e as variáveis ambientais. O volume de gás distribuído, tratado como variável contextual (Z3), guarda correlação com o número de consumidores, produto da primeira etapa, o que pode comprometer essa condição e introduzir endogeneidade. Por essa razão, os coeficientes da segunda etapa são interpretados exclusivamente como medidas de associação, sem leitura causal, e a especificação alternativa que incorpora o volume à fronteira (Apêndice F) é apresentada como verificação complementar, que não alterou a posição da SERGAS.

Os coeficientes estimados foram interpretados como medidas de associação entre as variáveis contextuais e os escores de eficiência, não sendo atribuída interpretação causal aos resultados. Dessa forma, a segunda etapa complementa a análise realizada pela DEA ao oferecer evidências sobre fatores potencialmente relacionados às diferenças de desempenho observadas entre as concessionárias estaduais de distribuição de gás natural.

3.6.5.1 Especificação do modelo econométrico

Formalmente, o modelo de segunda etapa regride a ineficiência técnica estimada, e não o escore de eficiência diretamente, uma vez que o procedimento de Simar e Wilson (2007) opera sobre a medida de ineficiência corrigida por viés, cujo domínio é compatível com a regressão truncada. A especificação econométrica adotada é apresentada na Equação 2.

$$\delta_i = \beta_0 + \beta_1 VG_i + \beta_2 PIB_i + \beta_3 DD_i + \varepsilon_i$$

em que:

δ_i representa a ineficiência técnica estimada (corrigida por viés) da observação i;

VG_i corresponde ao volume de gás distribuído;

PIB_i representa o Produto Interno Bruto per capita do estado;

DD_i corresponde à densidade demográfica;

β_0 representa o intercepto do modelo;

$\beta_1, \beta_2 \; e \; \beta_3$ representam os parâmetros estimados para cada variável contextual;

ε_i representa o termo de erro aleatório, com truncamento compatível com o domínio da ineficiência.

Um coeficiente positivo indica associação da variável contextual com maior ineficiência (menor eficiência), ao passo que um coeficiente negativo indica associação com menor ineficiência (maior eficiência). A estimação dos parâmetros seguiu o procedimento de Simar e Wilson (2007) descrito na seção anterior, e os coeficientes foram interpretados como medidas de associação, não sendo atribuída interpretação causal às relações observadas.

3.6.6 Análises de robustez

Com o objetivo de avaliar a estabilidade dos resultados obtidos e reduzir a influência de pressupostos específicos do modelo, foram realizadas análises de robustez na primeira e na segunda etapa da pesquisa. Essas verificações permitem examinar a sensibilidade dos resultados a diferentes especificações metodológicas e aumentar a confiabilidade das conclusões obtidas. Descrevem-se, a seguir, os quatro procedimentos empregados.

O primeiro conjunto de verificações incide sobre a segunda etapa e consiste na comparação de quatro procedimentos de inferência para os mesmos coeficientes da regressão truncada, apresentados de forma conjunta na Tabela 4. A comparação justifica-se porque cada procedimento trata a incerteza dos estimadores sob um pressuposto distinto, e a convergência

ou divergência entre eles informa quão dependente da técnica é a conclusão. O intervalo de confiança nativo de Simar e Wilson (2007) deriva do *bootstrap* do próprio algoritmo de segunda etapa e corrige o viés dos escores DEA, porém, em sua forma canônica, trata as 55 observações como independentes. O *bootstrap* por agrupamento (*cluster bootstrap*) relaxa esse pressuposto ao reamostrar ao nível da concessionária, acomodando a correlação entre os cinco anos de cada empresa. A correção CR2 fornece erros-padrão robustos a *cluster* com ajuste de pequena amostra, e o *wild cluster bootstrap* oferece inferência recomendada justamente quando o número de agrupamentos é reduzido (Cameron; Miller, 2015). Todos testam a mesma hipótese nula, a de que o coeficiente da variável contextual é igual a zero, diferindo apenas no modo como incorporam a dependência de painel e o tamanho reduzido da amostra. Adota-se como critério principal de decisão o *cluster bootstrap*, por alinhar-se à estrutura de painel dos dados; os demais procedimentos são interpretados como evidência de sensibilidade, de modo que uma conclusão é considerada robusta apenas quando se mantém estável entre as quatro abordagens.

Cabe registrar uma limitação inerente a esse desenho. Com apenas onze concessionárias, o número de agrupamentos disponíveis para a inferência é pequeno, o que reduz a potência estatística dos testes e amplia os intervalos de confiança. Nessas condições, a ausência de significância estatística não deve ser interpretada como prova de ausência de efeito: reflete, em boa medida, a limitada capacidade dos dados de detectar associações de magnitude moderada. Por essa razão, os resultados do segundo estágio são apresentados em caráter exploratório, com ênfase na direção e na estabilidade dos coeficientes, e não como demonstração definitiva de presença ou ausência de relações entre os fatores contextuais e a eficiência.

Vias adicionais de inferência para a segunda etapa

Na segunda etapa, além do procedimento de regressão truncada com *bootstrap* proposto por Simar e Wilson (2007), a inferência estatística foi complementada por técnicas adequadas a painéis com reduzido número de agrupamentos. Embora o algoritmo original trate as 55 observações (DMU-ano) como independentes, a base apresenta estrutura longitudinal, na qual cada concessionária contribui com cinco observações correlacionadas ao longo do tempo. Ignorar essa correlação tenderia a subestimar a incerteza das estimativas, produzindo intervalos de confiança artificialmente estreitos. Para contemplar essa característica, os resultados foram avaliados por quatro procedimentos inferenciais: (i) o intervalo de confiança nativo do *bootstrap* de Simar e Wilson; (ii) o *bootstrap* por agrupamento (*cluster bootstrap*), que reamostra as 11 concessionárias inteiras, preservando a correlação interna de cada uma; (iii) a correção CR2 com graus de liberdade de Satterthwaite, que ajusta os erros-padrão para o

número reduzido de agrupamentos; e (iv) o *wild cluster bootstrap* com pesos de Rademacher, procedimento indicado quando o número de *cluster*s é pequeno. Esses métodos são recomendados na literatura para inferência com poucos agrupamentos, por proporcionarem estimativas mais confiáveis dos erros-padrão e dos intervalos de confiança (Cameron; Miller, 2015; Mackinnon; Webb, 2017).

Sensibilidade à composição do painel (*leave-one-out*)

Como verificação da robustez da primeira etapa, realizou-se uma análise de sensibilidade pelo procedimento *leave-one-out*, que consiste em repetir a estimação retirando, a cada rodada, uma unidade do conjunto, de modo a avaliar o quanto o resultado depende de cada uma. Trata-se de uma técnica de análise de influência da família *jackknife* (Quenouille, 1956; Tukey, 1958), e não de um procedimento de *bootstrap*, uma vez que a remoção é sistemática e sem reposição, não envolvendo reamostragem aleatória. Dado que a fronteira foi estimada sobre o painel empilhado de 55 DMU-ano, cada rodada excluiu a totalidade das cinco observações (2020–2024) de uma mesma concessionária, reestimando-se o modelo DEA sobre as 50 DMU-ano remanescentes. O modelo foi assim reestimado dez vezes, excluindo-se sucessivamente cada uma das dez demais concessionárias; a SERGAS, por ser a unidade de interesse, foi mantida em todas as reestimações. O objetivo foi verificar se a posição relativa da SERGAS no *ranking* de eficiência dependia da presença de alguma distribuidora específica no conjunto de referência, avaliando a estabilidade da fronteira frente a alterações na composição do painel.

Mudança de produtividade ao longo do tempo - Índice de Malmquist

O Índice de Produtividade de Malmquist é uma medida que decompõe a variação da produtividade de uma unidade, entre dois períodos, em dois componentes: a mudança de eficiência, associada ao movimento da unidade em direção à fronteira (aproximar-se ou afastar-se das melhores práticas), e a mudança técnica, relacionada ao deslocamento da própria fronteira ao longo do tempo (o avanço ou recuo do padrão de referência do setor) (Färe et al., 1994; Coelli et al., 2005). No presente estudo, o índice foi estimado para avaliar a plausibilidade da hipótese de tecnologia comum, adotada na construção da fronteira empilhada para o período de 2020 a 2024: uma mudança técnica próxima da estabilidade sustenta a razoabilidade de reunir os cinco anos em uma fronteira única.

Tratamento alternativo do investimento (CAPEX)

Por fim, considerando que os efeitos dos investimentos em infraestrutura podem materializar-se de forma gradual, em períodos subsequentes ao de sua realização, a primeira etapa foi reestimada sob três tratamentos alternativos da variável CAPEX: o investimento

corrente (fluxo do próprio ano), o investimento acumulado (soma dos investimentos do período) e a média móvel dos investimentos. Essa verificação teve por finalidade avaliar a sensibilidade do posicionamento da SERGAS no ranking de eficiência à forma de mensuração do capital empregado, reconhecendo a limitação, já discutida na Seção 3.6.4, associada ao uso do CAPEX corrente.

Os resultados dessas quatro análises são apresentados e discutidos no Capítulo 4, permitindo avaliar a consistência dos achados frente a diferentes especificações metodológicas e pressupostos analíticos.

3.6.7 Softwares utilizados

Todas as análises estatísticas e econométricas desta pesquisa foram realizadas no ambiente R (R CORE TEAM, 2024), utilizando o RStudio como interface de desenvolvimento. A escolha desse ambiente fundamenta-se na ampla utilização do R em pesquisas quantitativas, especialmente na implementação de métodos de eficiência, procedimentos de *bootstrap* e inferência estatística robusta, bem como no fato de ser um software livre e de código aberto, o que favorece a transparência e a reprodutibilidade das análises.

A estimação da eficiência técnica na primeira etapa foi realizada com o pacote rDEA, que implementa o modelo BCC orientado a insumos e o procedimento de correção de viés e regressão truncada de Simar e Wilson (2007). O Índice de Produtividade de Malmquist e a decomposição das folgas foram obtidos com o pacote Benchmarking. Na segunda etapa, a regressão truncada foi estimada com o pacote truncreg, e a inferência robusta para dados agrupados (*cluster-robust inference*), incluindo a correção CR2 com graus de liberdade de Satterthwaite, foi conduzida com o pacote clubSandwich. Os procedimentos de *bootstrap* por agrupamento e *wild cluster bootstrap* foram implementados em rotinas próprias, a partir das funções de reamostragem do ambiente.

As etapas de importação, organização, auditoria e tratamento da base de dados foram desenvolvidas com o pacote readxl e o conjunto de pacotes tidyverse, contemplando a padronização das variáveis, a deflação dos valores monetários, a validação das informações e a elaboração das tabelas e gráficos apresentados no Capítulo 4. A utilização de um ambiente único de programação, com semente aleatória fixa para os procedimentos de reamostragem, assegura a reprodutibilidade integral das análises e a rastreabilidade de todas as etapas metodológicas. O código-fonte completo é disponibilizado no Apêndice E.

3.7 ASPECTOS ÉTICOS

A presente pesquisa foi desenvolvida exclusivamente a partir de dados secundários, provenientes de bases públicas e documentos institucionais disponibilizados por órgãos governamentais, agências reguladoras e concessionárias estaduais de distribuição de gás natural, não envolvendo coleta de dados diretamente com seres humanos, aplicação de entrevistas, questionários ou qualquer procedimento de intervenção junto a participantes.

Nessas condições, a pesquisa enquadra-se nas hipóteses previstas pela Resolução nº 510, de 7 de abril de 2016, do Conselho Nacional de Saúde**,** segundo a qual pesquisas que utilizam informações de acesso público, nos termos da legislação vigente, e que não envolvem identificação individual de participantes, estão dispensadas de apreciação pelo Sistema CEP/CONEP (Brasil, 2016).

Embora dispensada de submissão ao Comitê de Ética em Pesquisa, a investigação observou os princípios éticos da integridade científica, da transparência metodológica e da fidedignidade no tratamento das informações, assegurando a adequada referência às fontes utilizadas, a rastreabilidade dos procedimentos analíticos e a reprodutibilidade das etapas de construção da base de dados e das análises estatísticas realizadas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta e discute os resultados da pesquisa, organizados na sequência das duas etapas metodológicas descritas no Capítulo 3. Inicialmente, caracteriza-se a base de dados e o tratamento aplicado às variáveis (Seção 4.1). Em seguida, apresentam-se os escores de eficiência técnica estimados pela Análise Envoltória de Dados e o posicionamento das concessionárias na fronteira, com destaque para a SERGAS (Seção 4.2). Na sequência, são reportados os resultados da segunda etapa, relativa à investigação da associação entre fatores contextuais e os níveis de eficiência (Seção 4.3), seguidos das análises de robustez que avaliam a estabilidade dos achados (Seção 4.4) e da leitura das folgas, que identifica onde reside a ineficiência de cada distribuidora (Seção 4.5). Por fim, os resultados são discutidos à luz do referencial teórico (Seção 4.6), articulando-se a evidência empírica com a literatura de eficiência, regulação e avaliação de desempenho no setor público.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA BASE E TRATAMENTO DOS DADOS

A análise recai sobre um painel de onze distribuidoras estaduais de gás natural canalizado, cada uma atuando em uma unidade federativa distinta, observadas ao longo de cinco exercícios (2020 a 2024), com dados completos para todo o período. As onze concessionárias que compõem o painel foram apresentadas no Quadro 3 (Seção 3.4). Reunidas, elas geram cinquenta e cinco observações distribuidora-ano, tratadas como um painel empilhado *(pooled*), que constitui o conjunto de unidades tomadoras de decisão (DMU) sobre o qual se estima a fronteira de eficiência.

Cabe distinguir, desde já, três números que percorrem toda a análise: são onze empresas, que originam cinquenta e cinco DMU-ano na fronteira, e essas mesmas onze empresas funcionam como onze agrupamentos (*clusters*) na inferência do segundo estágio. A distinção é relevante porque cada um desses números cumpre um papel diferente: as DMU-ano definem a granularidade da fronteira, ao passo que os agrupamentos por empresa definem a unidade de correlação considerada na inferência estatística.

Os valores monetários, despesas operacionais (OPEX) e investimentos (CAPEX) foram deflacionados para preços constantes de 2024 pelo Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), a partir do número-índice divulgado pelo IBGE. Como o OPEX e o CAPEX são incorridos de forma distribuída ao longo de todos os meses do exercício, e não em um instante único, adotou-se o número-índice médio anual do IPCA como base do deflator,

em vez do índice de um mês específico. Esse procedimento capta a dinâmica de preços efetivamente enfrentada pelas distribuidoras ao longo do ano, evitando que a escolha de um mês de referência introduzisse distorções na mensuração da eficiência real. A correção é relevante porque, ao reunir cinco anos numa fronteira única, valores nominais fariam com que a inflação do período, acumulada em 29,2% entre 2020 e 2024, se confundisse com variação real de custos, deslocando a posição das distribuidoras por um efeito puramente monetário. A extensão de rede e o número de consumidores, por serem grandezas físicas, entram na análise sem deflação. A Tabela 1 apresenta os deflatores anuais aplicados.

Tabela 1 – Deflatores anuais do IPCA aplicados a OPEX e CAPEX (base: preços de 2024)

Ano	Deflator (base 2024)	Correção acumulada até 2024 (%)
2020	1,2920	29,20
2021	1,1929	19,29
2022	1,0916	9,16
2023	1,0437	4,37
2024	1,0000	0,00

Fonte: Elaborado pela autora (2026), com base em IBGE (2025).
Nota: Índice IPCA (número-índice), IBGE via SIDRA (tabela 1737), média anual. Deflator = índice de 2024 dividido pelo índice do ano.

O deflator traduz, em um único fator, a correção necessária para tornar comparáveis valores de anos distintos: um gasto de 2020, por exemplo, é multiplicado por 1,2920 para expressar-se em poder de compra de 2024. Como se verá na análise dos escores, essa correção não é um detalhe técnico menor, ela altera a posição relativa das distribuidoras, e é a diferença entre a leitura em valores nominais e a leitura em preços constantes que explica a mudança de posição da SERGAS entre as duas.

Aplicada a deflação, a Tabela 2 sintetiza o comportamento das quatro variáveis do modelo, três insumos e um produto, em preços constantes de 2024, permitindo dimensionar a amplitude e a heterogeneidade do conjunto analisado.

Tabela 2 – Estatísticas descritivas das variáveis (preços constantes de 2024)

Variável	Papel	Mínimo	Mediana	Média	Máximo
OPEX (R$ mil de 2024)	Insumo	23.870	38.510	58.336	193.599
Extensão de rede (km)	Insumo	149	571	752	1.800
CAPEX (R$ mil de 2024)	Insumo	5.252	35.300	61.245	358.400
Consumidores (unid.)	Produto	4.500	33.584	42.453	103.885

Fonte: Elaborado pela autora (2026), com base nas 55 observações distribuidora-ano.

Os números revelam a acentuada heterogeneidade do setor. Em todas as variáveis, o valor máximo supera o mínimo em mais de uma ordem de grandeza: o OPEX varia de R$ 23,9

milhões a R$ 193,6 milhões, o CAPEX de R$ 5,3 milhões a R$ 358,4 milhões, e o número de consumidores de 4,5 mil a 103,9 mil. Essa amplitude confirma a coexistência, no painel, de distribuidoras de portes muito distintos, o que justifica, do ponto de vista empírico, a opção pelo modelo de retornos variáveis de escala, capaz de comparar unidades sem penalizá-las pela diferença de tamanho. Observa-se, ainda, que em todas as variáveis a média supera a mediana, indicando distribuições assimétricas à direita, típicas de setores em que poucas unidades de grande porte convivem com um conjunto maior de operadores menores.

4.2 EFICIÊNCIA TÉCNICA: A POSIÇÃO DA SERGAS NA FRONTEIRA DO SETOR

Os escores de eficiência técnica foram estimados por um modelo radial de retornos variáveis de escala, orientado a insumo. A orientação a insumo alinha-se à natureza do setor: como o número de consumidores atendidos responde primordialmente à demanda regional, tratada como exógena à gestão de curto prazo, a fronteira mede o quanto cada distribuidora poderia contrair proporcionalmente seus insumos mantendo o atendimento atual. A opção por retornos variáveis, por sua vez, reflete a acentuada heterogeneidade de porte entre as onze concessionárias: sob retornos constantes, as distribuidoras menores seriam penalizadas por não operarem na escala das maiores, independentemente de sua eficiência de gestão.

Para verificar essa escolha, a primeira etapa foi reestimada sob retornos constantes de escala (modelo CCR), e a razão entre os escores CCR e BCC foi tomada como medida de eficiência de escala (Apêndice F, Tabela 10). A SERGAS permanece em primeira posição sob retornos constantes, com escore médio de 0,961, e sua eficiência de escala média é de 0,968, o que indica operação próxima da escala ótima. Entre as demais, a distância entre os dois modelos é grande para CIGÁS, MSGÁS e SCGÁS, cuja eficiência de escala média fica abaixo de 0,50, o que mostra que o porte explica parte relevante de sua distância até a fronteira e sustenta a adoção do modelo BCC. Apenas 3 das 55 observações operam em escala eficiente.

Agregando os escores pela média do período, em preços constantes, a SERGAS ocupa a primeira posição entre as onze distribuidoras, com escore médio de 0,992. O resultado contraria a expectativa que motivou a investigação: presumia-se que a SERGAS, por seu porte comparativamente reduzido, tenderia a aparecer como ineficiente diante das grandes distribuidoras nacionais. Observou-se o oposto. A mediana unitária da SERGAS indica que a companhia operou sobre a fronteira na maioria dos exercícios, com a média ligeiramente inferior refletindo dois anos de leve afastamento, examinados adiante na análise da trajetória anual.

Registre-se que, em valores nominais, sem a correção inflacionária, a SERGAS figura em segunda posição; é a passagem para preços constantes, ao remover o efeito da inflação sobre observações de anos distintos reunidas numa fronteira comum, que a conduz ao topo do ordenamento. A Tabela 3 apresenta o ordenamento completo, com os escores em preços constantes e a posição correspondente em valores nominais.

Tabela 3 – Ranking de eficiência técnica agregado por distribuidora (preços constantes de 2024)

Distribuidora	Posição	Média θ*	Mediana	Mínimo	Máximo	Pos. nominal
SERGAS	**1**	**0,992**	**1,000**	**0,977**	**1,000**	**2**
ALGÁS	2	0,983	1,000	0,917	1,000	1
PBGÁS	3	0,982	0,985	0,943	1,000	3
POTIGÁS	4	0,841	0,838	0,679	0,975	5
CIGÁS	5	0,823	0,780	0,690	1,000	6
GASMIG	6	0,793	0,769	0,455	1,000	4
COPERGÁS	7	0,743	0,721	0,483	1,000	7
MSGÁS	8	0,690	0,682	0,668	0,728	9
BAHIAGÁS	9	0,675	0,673	0,551	0,817	8
CEGÁS	10	0,672	0,703	0,535	0,735	10
SCGÁS	11	0,303	0,298	0,284	0,327	11

Fonte: Elaborado pela autora (2026).
Nota: θ* = escore de eficiência técnica (radial BCC, retornos variáveis, orientado a insumo), de 0 a 1. Ordenado pela média em preços constantes. A coluna "Pos. nominal" traz a posição sem deflação.

A leitura do ranking revela três distribuidoras destacadas na fronteira, SERGAS, ALGÁS e PBGÁS, com escores médios muito próximos entre si e superiores a 0,98, seguidas por um agrupamento intermediário e, na base, por distribuidoras com distância substancial até a fronteira. A proximidade entre as três primeiras colocadas, separadas por diferenças da ordem de um centésimo, recomenda cautela na leitura hierárquica: mais do que uma liderança isolada da SERGAS, os dados indicam a formação de um grupo de distribuidoras que operam muito próximas da fronteira de melhores práticas, no qual a SERGAS se inclui com destaque.

Três distribuidoras formam o grupo líder: SERGAS (θ* médio de 0,992), ALGÁS (0,983) e PBGÁS (0,982). A diferença entre elas é da ordem de um centésimo, de modo que os dados indicam um grupo próximo da fronteira, e não uma liderança isolada. Os escores anuais (Apêndice D) mostram trajetórias distintas: a SERGAS operou sobre a fronteira em três dos cinco exercícios (2020, 2021 e 2024), com mínimo de 0,977 em 2023; a ALGÁS, em quatro (2021 a 2024), após 0,917 em 2020; e a PBGÁS, em dois (2020 e 2024), com mínimo de 0,943 em 2023. Em valores nominais, a ALGÁS ocupa a primeira posição, o que reforça a leitura de grupo. Entre as 42 observações ineficientes, SERGAS e PBGÁS serviram de referência (benchmark) 31 vezes cada, e a ALGÁS 22 vezes. O OPEX médio por consumidor foi de 0,798 na SERGAS, 0,531 na ALGÁS e 1,006 na PBGÁS. A SERGAS distingue-se das suas pares pela estabilidade: nunca se afastou da fronteira em mais de 2,3 pontos percentuais.

Convém sublinhar o caráter relativo dessa medida: o escore não compara cada distribuidora a um padrão externo de excelência, mas a cada uma das demais do próprio painel. Um escore elevado indica, portanto, que a SERGAS converte insumos em consumidores atendidos tão bem quanto as melhores práticas observadas neste conjunto de concessionárias, não constituindo, em si, atestado absoluto de qualidade, lucratividade ou satisfação do usuário.

Como o escore de um modelo com insumos e produto pode refletir características estruturais, examinou-se sua associação com os insumos, com o produto e com a densidade de rede (consumidores por quilômetro). A correlação de Spearman entre θ^* e consumidores por quilômetro de rede foi de 0,69 nas 55 observações e de 0,87 nas médias por concessionária. Observa-se que a SCGÁS, com o menor escore (0,303), combina cerca de 1.600 km de rede com 17 a 30 mil consumidores (aproximadamente 19 consumidores por km em 2024), ao passo que a SERGAS atende cerca de 45 mil consumidores em 329 km (aproximadamente 138 por km). Na média de 2020 a 2024, a SERGAS tem a rede mais densa do painel, com 131 consumidores por km, contra 100 da ALGÁS e 16 da SCGÁS. Parte da distância até a fronteira reflete, portanto, a densidade da rede, e não apenas a gestão dos recursos, o que recomenda cautela ao atribuir o resultado à gestão.

4.3 A SEGUNDA ETAPA: FATORES CONTEXTUAIS E EFICIÊNCIA

A segunda etapa investigou se fatores externos à gestão, o PIB per capita estadual, a densidade demográfica e o volume de gás distribuído, associam-se aos escores de eficiência. A estimação seguiu o procedimento de Simar e Wilson (2007), método de referência para o segundo estágio em estudos DEA, que corrige por *bootstrap* o viés do escore de eficiência e estima uma regressão truncada da ineficiência corrigida sobre as variáveis contextuais. O número de consumidores foi deliberadamente excluído desta etapa por constituir o próprio produto da primeira, o que introduziria endogeneidade circular.

O resultado do segundo estágio depende inteiramente do modo como se trata a estrutura de painel dos dados, e essa dependência é, em si, o achado mais relevante da etapa. Sob o intervalo de confiança nativo do procedimento de Simar-Wilson, que trata as cinquenta e cinco observações como independentes, os três coeficientes excluem o zero. Esse intervalo, contudo, ignora que as cinquenta e cinco observações provêm de apenas onze empresas, cada uma acompanhada por cinco anos correlacionados entre si. Quando a incerteza é recalculada respeitando essa estrutura, seja pelo *bootstrap* de agrupamentos por empresa, seja pela correção de pequena amostra CR2 com graus de liberdade de Satterthwaite, seja pelo *wild cluster*

bootstrap, os três coeficientes passam a apresentar intervalos que cruzam o zero, e nenhum dos valores-p permite rejeitar a hipótese de ausência de associação. A Tabela 4 reúne, para cada variável, as quatro leituras de incerteza.

Tabela 4 – Coeficientes da regressão truncada de Simar-Wilson e inferência por quatro vias

Variável contextual	β	IC 95% S-W	IC 95% cluster	p (CR2)	p (wild)
PIB per capita (R$ mil)	0,0731	[0,033; 0,102]	[−0,017; 0,085]	0,219	0,395
Densidade (hab/km²)	0,0218	[0,003; 0,028]	[−0,012; 0,022]	0,279	0,372
Volume de gás (Mm³/ano)	0,0009	[0,0001; 0,0016]	[−0,0002; 0,0017]	0,135	0,124

Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Nota: Coeficiente da regressão truncada de Simar-Wilson (2007), com a ineficiência corrigida por viés como variável dependente. "IC S-W" = intervalo nativo do *bootstrap* (trata as 55 DMU-ano como independentes). "IC cluster" = *bootstrap* de agrupamentos por empresa (11 empresas). p (CR2) = correção de pequena amostra com graus de liberdade de Satterthwaite. p (wild) = wild cluster *bootstrap* (Rademacher, hipótese nula imposta).

A exclusão do zero observada no intervalo nativo revela-se, assim, um artefato de tratar cinquenta e cinco observações correlacionadas como se fossem cinquenta e cinco unidades independentes, artefato que desaparece tão logo o número real de unidades independentes, onze empresas, é levado em conta. A leitura substantiva, apoiada nas vias de inferência metodologicamente apropriadas para poucos agrupamentos (Cameron; Miller, 2015; Mackinnon; Webb, 2017), é que esta amostra não fornece evidência de associação entre as três variáveis contextuais e a eficiência técnica. Os sinais pontuais dos coeficientes não devem, portanto, ser interpretados como achados de direção.

Embora o painel reúna 55 observações, as variáveis contextuais estaduais (PIB per capita e densidade demográfica) variam pouco ao longo dos cinco anos dentro de cada estado, de modo que a informação independente equivale, na prática, a onze unidades. Com esse número de agrupamentos, a potência dos testes é limitada, e a ausência de significância deve ser lida como ausência de evidência, e não como evidência de ausência de associação. Por isso, os resultados da segunda etapa têm caráter exploratório. Trabalhos futuros com amostra maior ou com variáveis que variem no tempo poderão submeter essa etapa a teste mais exigente.

Esse resultado inconclusivo não fragiliza o achado da primeira etapa, mas também não o explica: nas variáveis contextuais testadas (PIB per capita, densidade demográfica e volume de gás), a amostra não oferece evidência robusta de associação com a eficiência. Isso não equivale a afirmar que o ambiente de atuação seja irrelevante. A análise exploratória da Seção 4.2 indica associação elevada entre o escore e a densidade da rede, variável que não integrou

esta etapa. No âmbito deste estudo, portanto, os determinantes contextuais da eficiência permanecem em aberto, o que se registra como tal e orienta a agenda de investigações futuras.

4.4 ROBUSTEZ DO POSICIONAMENTO

A posição de liderança da SERGAS foi submetida a um conjunto de verificações de robustez, destinadas a avaliar em que medida o achado depende de escolhas específicas de modelagem ou da composição do painel. As três verificações, apresentadas na mesma ordem da Seção 3.6.6, examinam a sensibilidade do resultado à composição do conjunto, à hipótese de tecnologia comum e ao tratamento do investimento.

4.4.1 Sensibilidade à composição do painel (leave-one-out)

Como a eficiência é medida por comparação interna ao painel, examinou-se se a posição da SERGAS dependeria da presença de alguma concorrente específica. Para tanto, a primeira etapa foi reestimada dez vezes, removendo-se, a cada rodada, uma das outras dez distribuidoras (a própria SERGAS nunca é removida, pois sem ela não haveria posição a apurar). A SERGAS permaneceu em primeira colocação nas dez reestimações, o que indica que sua liderança não decorre da presença ou ausência de qualquer concorrente particular, nem da composição específica do conjunto avaliado.

4.4.2 Mudança técnica ao longo do período (índice de Malmquist)

A decisão de reunir cinco anos numa fronteira única pressupõe que a tecnologia de referência não se alterou substancialmente no período, pressuposto que o índice de Malmquist permite examinar. A Tabela 5 apresenta a decomposição da produtividade por transição anual.

Tabela 5 – Índice de Malmquist: decomposição da produtividade (2020–2024)

Transição	IPM	Mud. técnica (MT)	Mud. eficiência (ME)
2020 → 2021	0,950	1,004	1,002
2021 → 2022	1,006	0,978	1,029
2022 → 2023	0,936	0,944	0,993
2023 → 2024	1,036	1,086	0,958
Média geométrica	**0,981**	**1,002**	**0,995**

Fonte: Elaborado pela autora (2026).
Nota: IPM = índice de produtividade de Malmquist; valores acima de 1 indicam ganho de produtividade. MT = mudança técnica (deslocamento da fronteira); ME = mudança de eficiência (aproximação à fronteira).

A leitura da Tabela 5 revela que a mudança técnica líquida do quinquênio foi pequena, com média geométrica de 1,002, próxima da estabilidade. Essa média, contudo, não deve ocultar que os deslocamentos anuais não são desprezíveis: a fronteira recuou expressivamente na transição de 2022 para 2023 (MT = 0,944, retração de cerca de 6%) e avançou de forma acentuada de 2023 para 2024 (MT = 1,086, avanço de quase 9%). Esses movimentos em sentidos opostos praticamente se cancelam no cômputo do período, o que explica a estabilidade líquida, sem, entretanto, indicar que a tecnologia tenha permanecido constante ano a ano. A componente de mudança de eficiência (ME), por sua vez, manteve-se próxima da unidade em todas as transições, indicando que as distribuidoras não se aproximaram nem se afastaram sistematicamente da fronteira.

Em conjunto, esses resultados são compatíveis com a adoção da fronteira empilhada como simplificação aceitável, dado que o deslocamento tecnológico líquido no período foi reduzido; não constituem, porém, validação da hipótese de tecnologia comum, já que os movimentos anuais observados são relevantes. Cabe registrar, ademais, que o índice de Malmquist é empregado aqui como verificação auxiliar da estabilidade da fronteira, e não como substituto de uma especificação que modele explicitamente a dimensão temporal, como a estimação de fronteiras anuais ou o uso de efeitos de ano. A opção pela fronteira empilhada, portanto, é assumida como uma simplificação cujos limites se incorporam às limitações do estudo.

4.4.3 Tratamento do investimento (CAPEX)

Como o investimento produz efeitos que amadurecem ao longo de anos, tratá-lo apenas como fluxo do próprio exercício pode distorcer a medida de eficiência. A primeira etapa foi, por isso, reestimada sob três tratamentos alternativos do CAPEX, cujos resultados a Tabela 6 sintetiza.

Tabela 6 – Sensibilidade da posição da SERGAS ao tratamento do CAPEX

Tratamento do CAPEX	Posição da SERGAS
Corrente (fluxo anual)	1º
Acumulado (estoque)	2º
Média móvel de 2 anos	3º

Fonte: Elaborado pela autora (2026).
Nota: A SERGAS permanece entre as três primeiras colocações sob todos os tratamentos.

A Tabela 6 evidencia que a posição da SERGAS é sensível à forma de mensuração do investimento: a companhia lidera sob o CAPEX corrente, recua para a segunda colocação sob

o investimento acumulado e para a terceira sob a média móvel de dois anos. Essa variação tem explicação econômica plausível: quando o capital é medido como estoque acumulado, distribuidoras que investiram intensamente em anos anteriores passam a incorporar esse investimento à conta de insumos, o que altera as posições relativas. O que importa, do ponto de vista da robustez, é que em nenhum dos três tratamentos a SERGAS deixa o grupo das três primeiras colocadas, a leitura de eficiência elevada preserva-se, ainda que a colocação exata dependa da convenção adotada para o capital. Essa sensibilidade é coerente com a limitação, já reconhecida na Seção 3.6.4, do uso do CAPEX corrente em um setor cujos investimentos maturam ao longo do tempo.

Em conjunto, as três verificações sustentam a leitura de que a SERGAS opera junto à fronteira de eficiência do setor: o posicionamento não é artefato da composição do painel nem da hipótese de tecnologia comum e, embora a colocação exata varie com o tratamento do investimento, mantém-se sempre entre as três primeiras. As verificações delimitam o alcance do achado sem comprometê-lo.

4.5 ONDE RESIDE A INEFICIÊNCIA: LEITURA DAS FOLGAS

Enquanto o escore indica o quanto uma distribuidora se distancia da fronteira, as folgas indicam por quê, decompondo essa distância em consumo excessivo de insumo ou déficit de atendimento. A leitura das folgas confirma o ranking e o qualifica. A Tabela 7 apresenta, para cada distribuidora, a folga média em cada dimensão, expressa como proporção do insumo empregado (ou do atendimento prestado), ao lado do escore de eficiência.

Tabela 7 – Folgas médias por dimensão e escore de eficiência, por distribuidora (2020–2024)

Distribuidora	θ* médio	Folga OPEX	Folga rede	Folga CAPEX	Déficit atend.
SERGAS	**0,992**	**—**	**—**	**7,1%**	**—**
ALGÁS	0,983	0,3%	—	—	—
PBGÁS	0,982	—	—	11,0%	—
POTIGÁS	0,841	8,3%	4,2%	1,5%	—
CIGÁS	0,823	—	—	19,1%	4,3%
GASMIG	0,793	2,1%	0,4%	4,9%	—
COPERGÁS	0,743	3,4%	—	3,5%	—
MSGÁS	0,690	—	1,1%	26,0%	95,3%
BAHIAGÁS	0,675	38,6%	—	17,6%	—
CEGÁS	0,672	—	10,7%	41,7%	—
SCGÁS	0,303	—	5,9%	22,9%	5,4%

Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Nota: Folga expressa como proporção do insumo empregado (colunas OPEX, rede e CAPEX) ou do atendimento (déficit). Traço (—) indica folga nula ou desprezível. Ordenado pelo escore θ*.

A leitura da Tabela 7 confirma e qualifica o *ranking*, com a ressalva de que as folgas radiais constituem diagnósticos relativos à fronteira estimada, condicionados ao conjunto de distribuidoras, às variáveis selecionadas e à orientação do modelo e não uma identificação causal das origens da ineficiência. No topo, a SERGAS e a ALGÁS apresentam folgas nulas ou próximas de zero em praticamente todas as dimensões, coerentemente com sua condição de referência da fronteira; a SERGAS registra apenas uma folga modesta de CAPEX (7,1%), sem excesso de custeio ou déficit de atendimento relativo. Entre as demais, distinguem-se dois perfis de ineficiência que o escore agregado não evidencia. O primeiro é o das distribuidoras cujas folgas se concentram no lado do insumo, com uso de recursos superior ao dos pares de referência para o atendimento que prestam: a BAHIAGÁS, com folga de OPEX de 38,6%, e a CEGÁS, com folga de CAPEX de 41,7%, ilustram esse perfil. O segundo é o das que apresentam folga no lado do produto, isto é, um nível de atendimento inferior ao projetado pela fronteira DEA para insumos comparáveis: a MSGÁS, cujo déficit de atendimento de 95,3% indica forte distância entre o número de consumidores atendido e o valor de referência estimado pela fronteira. Ressalte-se que esse déficit é medido relativamente à projeção da fronteira, e não à demanda potencial do estado, que não é objeto de mensuração neste estudo; sua interpretação, portanto, não autoriza, por si só, recomendações de expansão do atendimento, as quais dependeriam de evidências adicionais sobre demanda efetiva, viabilidade econômica e metas de universalização.

A distinção entre os dois perfis é operacionalmente útil, pois aponta caminhos distintos de melhoria: para as distribuidoras do primeiro perfil, o foco recai sobre a racionalização do uso de recursos; para as do segundo, sobre a expansão do atendimento com a infraestrutura já existente. Cabe, porém, a cautela de que a folga de produto é calculada contra a fronteira do próprio painel e não incorpora o potencial de mercado de cada estado. Assim, um déficit elevado de atendimento, como o da MSGÁS, pode refletir limites estruturais de demanda regional, e não apenas margem de gestão, o que recomenda prudência na sua interpretação como oportunidade gerencial. A posição da SERGAS, com folgas próximas de zero em todas as dimensões, indica que sua eventual margem de melhoria não reside na contenção de custos, dimensão em que já opera junto à fronteira, mas, quando muito, na maturação do investimento recente sinalizado pela folga de CAPEX.

4.6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS À LUZ DO REFERENCIAL TEÓRICO

Os resultados apresentados nas seções anteriores adquirem sentido pleno quando confrontados com os fundamentos teóricos que orientaram a pesquisa. Esta seção retoma os principais achados, a posição da SERGAS na fronteira de eficiência, o resultado inconclusivo da segunda etapa e os perfis de folga identificados e os discute à luz da literatura de eficiência, regulação e avaliação de desempenho no setor público, explicitando convergências, tensões e implicações para a gestão.

4.6.1 A posição da SERGAS e a lógica da competição por comparação

O achado central desta pesquisa, a posição da SERGAS na fronteira de eficiência técnica do setor, em preços constantes, encontra sua principal chave de leitura na teoria da Yardstick Competition (Shleifer, 1985). Segundo essa perspectiva, em setores organizados como monopólios naturais, nos quais a concorrência direta é inviável, a comparação sistemática do desempenho entre operadores semelhantes pode cumprir função análoga à da competição de mercado, oferecendo um parâmetro de referência que pressiona as unidades em direção às melhores práticas. O posicionamento da SERGAS, obtido pela comparação com as demais dez concessionárias estaduais, é consistente com esse mecanismo: na ausência de um mercado que discipline o desempenho, a fronteira empírica construída pela DEA fornece um padrão de referência contra o qual a eficiência relativa da companhia pode ser aferida. É preciso delimitar, todavia, o alcance dessa leitura: a DEA fornece um *benchmark* compatível com a lógica da Yardstick Competition, mas a pesquisa não demonstra a existência de um mecanismo regulatório que efetivamente empregue essa comparação para disciplinar o desempenho, nem testa seus eventuais efeitos tarifários, contratuais ou decisórios. O que o estudo estabelece é o potencial de uso da fronteira como referência, e não a operação de um arranjo de competição por comparação já institucionalizado.

Esse resultado dialoga com a noção de eficiência técnica de Farrell (1957), fundamento da mensuração por fronteira, segundo a qual a eficiência de uma unidade se define por sua distância até o melhor desempenho observável entre pares comparáveis. A leitura, contudo, exige a cautela que a própria natureza relativa da medida impõe: a posição da SERGAS não constitui atestado absoluto de excelência gerencial, mas indica que, no conjunto analisado e no modelo especificado, a companhia converte insumos em atendimento de forma comparável às unidades de referência do setor. Essa ressalva é coerente com a advertência de Jamasb e Pollitt

(2001) quanto ao uso do *benchmarking* regulatório, cujos resultados dependem estreitamente do conjunto de comparação e das variáveis selecionadas, não devendo ser interpretados como medidas absolutas de mérito.

Cabe registrar que a posição de destaque contraria a expectativa que motivou a investigação. A hipótese intuitiva era de que a SERGAS, dado seu porte comparativamente reduzido, tenderia a apresentar-se como ineficiente frente às grandes distribuidoras. O resultado inverte essa presunção e é justamente a opção metodológica pelos retornos variáveis de escala (Banker; Charnes; Cooper, 1984) que torna essa leitura legítima, ao isolar a eficiência de gestão do efeito do porte, impedindo que a menor escala da companhia fosse confundida com ineficiência técnica.

4.6.2 O resultado inconclusivo da segunda etapa e o debate metodológico

A segunda etapa da pesquisa buscou investigar se fatores contextuais condições econômicas, geográficas e de mercado associam-se aos escores de eficiência. O resultado foi inconclusivo: sob as vias de inferência que respeitam a estrutura de painel dos dados, os intervalos de confiança das três variáveis contextuais incluem o zero, de modo que a amostra não fornece evidência de associação. Esse achado, longe de constituir uma falha, encontra respaldo direto no debate teórico que fundamenta a própria adoção da análise em dois estágios.

Coelli et al. (2005) argumentam que os escores de eficiência, embora sintetizem o desempenho técnico das unidades, não elucidam suas causas, razão pela qual a segunda etapa se faz necessária para investigar os condicionantes do desempenho. Ray (2004), por sua vez, alerta que a comparação entre unidades inseridas em contextos socioeconômicos distintos, sem o controle de variáveis ambientais, pode produzir diagnósticos enviesados. A segunda etapa desta pesquisa responde diretamente a essa exigência: ao testar a associação entre os fatores contextuais e a eficiência, ela verifica se a posição da SERGAS poderia ser atribuída a vantagens do ambiente sergipano, e não à sua operação. O resultado inconclusivo indica que, no âmbito destes dados e das variáveis testadas, não há evidência robusta de que a posição da SERGAS se deva às condições do seu ambiente. A conclusão, contudo, é limitada: a densidade da rede, que não entrou na segunda etapa, mostra associação elevada com o escore (Seção 4.2), de modo que o resultado não permite excluir a influência de condições estruturais.

O modo como esse resultado foi obtido merece destaque, por materializar a advertência metodológica de Simar e Wilson (2007). Sob o procedimento de inferência que trata as observações como independentes, os coeficientes aparentavam associação; essa

aparência, contudo, desapareceu quando a inferência passou a respeitar a estrutura de painel, o fato de as cinquenta e cinco observações derivarem de apenas onze empresas acompanhadas ao longo do tempo. A exclusão do zero revelou-se, assim, sensível à desconsideração do agrupamento e compatível com uma provável subestimação da incerteza, exatamente o tipo de inconsistência inferencial que Simar e Wilson (2007) apontam ao criticar as abordagens convencionais de segundo estágio. A adoção da regressão truncada com *bootstrap*, portanto, não apenas seguiu a recomendação da literatura, mas foi decisiva para evitar uma conclusão falsamente positiva sobre os determinantes da eficiência. Registre-se, na direção oposta, que intervalos que incluem o zero também não demonstram ausência de associação; com apenas onze agrupamentos, a limitada potência dos testes recomenda que o resultado seja lido como ausência de evidência, e não como evidência de ausência.

4.6.3 A leitura das folgas e a questão dos insumos

Para além da posição no *ranking*, a análise das folgas oferece a leitura de maior interesse gerencial, e é nela que a discussão sobre o uso dos insumos, central à literatura de *benchmarking* do setor, se concretiza. A análise revelou dois perfis distintos de ineficiência que o escore agregado não distingue: distribuidoras que perdem eficiência pelo excesso no consumo de insumos e distribuidoras que perdem pelo déficit no atendimento prestado.

A literatura de eficiência em setores de rede trata o consumo excessivo de insumos como a manifestação mais direta da ineficiência técnica: uma unidade é tecnicamente ineficiente quando emprega mais recursos, OPEX, investimento, infraestrutura, do que o necessário para o nível de serviço que entrega (Farrell, 1957; Coelli et al., 2005). No presente estudo, esse perfil manifesta-se nas distribuidoras que apresentam folgas expressivas de OPEX e CAPEX, discutidas na Seção 4.5 como a BAHIAGÁS e a CEGÁS, sinalizando margem de contenção de recursos sem prejuízo do atendimento. É precisamente a esse tipo de ineficiência que a regulação por incentivos, na tradição de Jamasb e Pollitt (2001), busca responder, ao estabelecer parâmetros de custo eficiente que pressionem as concessionárias à redução dos gastos gerenciáveis.

Nesse contexto, a posição da SERGAS adquire relevo particular: a companhia apresentou folgas próximas de zero em praticamente todas as dimensões de insumo, o que indica um uso equilibrado dos recursos frente ao atendimento gerado. Do ponto de vista da gestão, esse padrão sugere que a eventual margem de melhoria da companhia não reside na contenção de custos, dimensão em que já opera próxima da fronteira, mas eventualmente na

expansão do atendimento, o que remete à dimensão de mercado tratada, sem resultado conclusivo, na segunda etapa. Reconhece-se, todavia, a ressalva de que a folga de atendimento é calculada contra a fronteira do próprio painel e não incorpora o potencial de mercado de cada estado, de modo que um déficit elevado pode refletir limites de demanda regional, e não apenas de gestão (Ray, 2004).

4.6.4 Implicações para a governança e o desafio do uso

Os achados desta pesquisa convergem para um problema que a literatura de avaliação de desempenho no setor público identifica como central: o de que a produção de indicadores, por si só, não assegura sua incorporação ao processo decisório. Bouckaert e Halligan (2008) denominam esse fenômeno o desafio do uso, distinguindo a mensuração do desempenho de sua efetiva utilização na gestão. Behn (2003), na mesma direção, ressalta que a avaliação de desempenho só cumpre suas múltiplas finalidades, prestação de contas, melhoria da gestão, definição de metas, quando os resultados são traduzidos em instrumentos que efetivamente orientem a decisão.

É a esse desafio que o produto técnico desenvolvido nesta pesquisa, o Painel de Indicadores de Eficiência, busca responder. Ao converter os escores de eficiência em um instrumento de monitoramento recorrente, o painel opera a passagem da mensuração à gestão, evitando que o diagnóstico se esgote na produção de escores. Essa contribuição alinha-se à exigência da Lei nº 13.303/2016, que impõe às sociedades de economia mista práticas de governança compatíveis com a transparência e a prestação de contas, e para as quais a mensuração objetiva do desempenho constitui condição necessária (Lazzarini; Musacchio, 2018). Ao oferecer ao Conselho de Administração e à Diretoria da SERGAS uma visão estruturada de sua posição relativa no setor, o painel fornece o parâmetro de *accountability* que, conforme discutido no referencial, transcende os indicadores financeiros tradicionais e traduz, no plano da gestão, a lógica comparativa da *Yardstick Competition.*

Em síntese, a discussão dos resultados à luz do referencial revela um conjunto coerente: a posição da SERGAS ilustra a aplicabilidade da comparação por *benchmarking* como instrumento de referência em um setor sem concorrência, o resultado inconclusivo da segunda etapa, que não encontrou associação robusta com as variáveis contextuais testadas, ilustra a importância do rigor inferencial recomendado pela literatura e não permite, por si só, afirmar que o desempenho independa do ambiente; e a leitura das folgas, ao distinguir perfis de ineficiência, oferece o conteúdo gerencial que o produto técnico traduz em instrumento de

decisão. Os limites do estudo, retomados no capítulo seguinte, delimitam o alcance dessas leituras sem comprometer sua contribuição.

4.7 SÍNTESE E IMPLICAÇÕES PARA A GESTÃO

Tomados em conjunto, os resultados sustentam uma leitura precisa quanto ao seu alcance e quanto aos seus limites. No âmbito do painel analisado e do modelo especificado, a SERGAS posiciona-se na fronteira de eficiência técnica do setor de distribuição de gás natural canalizado, resultado que se mostrou robusto ao controle de escala, à composição do painel e dentro dos limites discutidos ao tratamento do investimento. A segunda etapa, por sua vez, não identificou associação estatisticamente conclusiva entre os fatores contextuais examinados e a eficiência, o que impede atribuir o desempenho observado a qualquer determinante específico, seja ele gerencial ou circunstancial. A análise identifica, com robustez, onde a SERGAS se situa na fronteira do setor; não identifica, com os dados disponíveis, por que ela ali se encontra, questão que permanece como objeto legítimo de investigação futura.

Os dados sugerem, porém, que parte do posicionamento está associada à densidade da rede: a correlação entre o escore e os consumidores por quilômetro é elevada, e a SERGAS tem a rede mais densa do painel. Como a densidade de rede resulta tanto de condições do território quanto de decisões de expansão, essa associação não permite atribuir o desempenho, por si só, à gestão.

Para a gestão da concessionária, esse conjunto de achados oferece uma referência comparativa consistente para o monitoramento de seu desempenho relativo, concretizada no Painel de Indicadores de Eficiência desenvolvido nesta pesquisa, que permite à companhia acompanhar sua posição frente às congêneres de forma recorrente e atualizável. A leitura das folgas, em particular, fornece elementos para a avaliação da utilização dos recursos e do potencial de expansão do atendimento, subsidiando, sem substituir, o julgamento gerencial sobre viabilidade, qualidade e ambiente operacional.

5 PRODUTO TÉCNICO-TECNOLÓGICO

Proposta de Painel de Indicadores de Eficiência para o Monitoramento Recorrente do Desempenho Operacional da Sergipe Gás S.A.

Esta seção apresenta o Produto Técnico-Tecnológico desenvolvido a partir dos resultados desta pesquisa, concebido como resposta às necessidades identificadas durante a avaliação da eficiência técnica operacional da Sergipe Gás S.A. (SERGAS). Sua elaboração foi fundamentada nas evidências produzidas pela mensuração da eficiência por meio da Análise Envoltória de Dados (DEA), pela investigação dos fatores contextuais associados ao desempenho, pela leitura das folgas operacionais e pelas verificações de robustez conduzidas, assegurando a rastreabilidade entre o diagnóstico de desempenho e o instrumento gerencial proposto.

Após a discussão integrada dos principais achados da pesquisa, verificou-se que o aperfeiçoamento do monitoramento do desempenho da concessionária depende da tradução dos escores de eficiência em um instrumento de acompanhamento comparado, recorrente e atualizável, capaz de conectar a mensuração técnica ao processo decisório da empresa. Nesse contexto, o Produto Técnico-Tecnológico foi estruturado para transformar essas evidências em uma ferramenta prática de apoio à avaliação de desempenho, ao planejamento de investimentos e à governança corporativa da SERGAS.

Alinhada às diretrizes do Mestrado Profissional em Administração Pública em Rede Nacional (PROFIAP) e à sua Linha de Pesquisa "Tecnologia, Inovação e Gestão Pública", a proposta consiste em um Painel de Indicadores de Eficiência, cuja versão completa integra o Apêndice A desta dissertação. O painel não introduz novas exigências normativas, mas sistematiza indicadores, procedimentos de cálculo e orientações de leitura fundamentados nos referenciais nacionais e internacionais aplicáveis à avaliação de desempenho de serviços públicos regulados e, principalmente, nas evidências produzidas pela análise comparativa entre concessionárias.

O instrumento foi estruturado a partir dos quatro objetivos específicos apresentados no Capítulo 4. O primeiro consolidou a modelagem de insumos e produto adequada à realidade da distribuição de gás natural (OPEX, extensão de rede e CAPEX como insumos, e número de consumidores como produto); o segundo estabeleceu o posicionamento comparativo da SERGAS na fronteira de eficiência do setor; o terceiro examinou os determinantes contextuais do desempenho, cujo resultado inconclusivo delimitou o alcance interpretativo do instrumento; e o quarto demonstrou que a mensuração da eficiência constitui importante mecanismo de apoio

à governança, à transparência e à *accountability*. Esses achados orientaram diretamente a definição dos indicadores, dos procedimentos de recálculo da fronteira, da leitura das folgas por dimensão e dos critérios de acompanhamento incorporados ao painel.

Dessa forma, o instrumento proposto busca apoiar gestores e órgãos de governança da concessionária na condução do monitoramento recorrente do desempenho, promovendo maior uniformidade dos procedimentos de avaliação, organização das informações de eficiência, definição de responsabilidades e integração entre a mensuração técnica e o ciclo decisório. Sua estrutura foi concebida para recalcular a fronteira à medida que novos exercícios são incorporados, preservando a atualização contínua necessária ao acompanhamento do desempenho relativo, sem perder a padronização requerida para fortalecer a rastreabilidade, a transparência e a comparabilidade entre as concessionárias.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta dissertação teve como objetivo geral avaliar a eficiência técnica operacional da Sergipe Gás S.A. (SERGAS), entendida como a capacidade de converter insumos operacionais e de capital em produtos associados à prestação do serviço de distribuição de gás natural, por meio da aplicação da Análise Envoltória de Dados (DEA), estabelecendo um *benchmark* comparativo em relação às demais concessionárias estaduais do setor, e propor um instrumento gerencial que traduza os resultados em ferramenta de monitoramento recorrente de desempenho, integrado à governança corporativa da concessionária.

A questão de pesquisa formulada na Seção 1.1, em que medida a mensuração da eficiência técnica operacional da Sergipe Gás S.A. (SERGAS), por meio da Análise Envoltória de Dados (DEA), pode situá-la comparativamente frente às demais concessionárias estaduais e ser traduzida em um instrumento gerencial de monitoramento recorrente do desempenho, foi respondida por meio de uma abordagem em dois estágios, combinando o modelo DEA-BCC radial, orientado a insumo, sob retornos variáveis de escala, com a regressão truncada com *bootstrap* de Simar e Wilson (2007) para a investigação dos determinantes contextuais da eficiência. Os resultados responderam aos quatro objetivos específicos propostos. Em relação ao primeiro objetivo, o modelo de análise foi estruturado com três variáveis de insumo (OPEX, extensão de rede e CAPEX, com os valores monetários deflacionados para preços constantes de 2024) e uma variável de produto (número de consumidores), aplicado a 11 concessionárias estaduais com participação acionária do respectivo governo estadual, totalizando 55 observações distribuidora-ano no período 2020–2024. A seleção das DMUs e das variáveis foi fundamentada na literatura de eficiência e *benchmarking* do setor, observando os princípios de representatividade do processo produtivo e de parcimônia do modelo.

Quanto ao segundo objetivo, os escores de eficiência técnica, estimados em preços constantes, revelaram que a SERGAS ocupa a primeira posição entre as 11 distribuidoras avaliadas, com escore médio de $\theta^* = 0{,}992$. Registre-se que, em valores nominais, a companhia figura em segunda posição; é a correção para preços constantes, ao neutralizar o efeito da inflação sobre observações de anos distintos reunidas numa fronteira comum, que a conduz ao topo do *ranking*. Esse achado contrariou a expectativa inicial de que a SERGAS apareceria como ineficiente por seu porte comparativamente reduzido, e mostrou-se robusto às verificações de sensibilidade conduzidas.

Em relação ao terceiro objetivo, a análise dos determinantes contextuais (econômicos, geográficos e de mercado) não identificou associação estatisticamente conclusiva entre essas

variáveis e a eficiência: sob as vias de inferência que respeitam a estrutura de painel dos dados, os intervalos de confiança de 95% cruzaram zero nas três variáveis. Os sinais pontuais estimados constituem, portanto, indicações exploratórias, não autorizando afirmações sobre a direção das associações. A amostra disponível, 55 observações provenientes de 11 empresas, não oferece precisão para distinguir os efeitos de zero. Registre-se, ademais, que nenhuma variável propriamente regulatória foi operacionalizada no modelo, de modo que o objetivo de identificar determinantes não foi alcançado em sentido confirmatório. Trata-se de resultado inconclusivo e cientificamente legítimo, que indica que a explicação dos determinantes da eficiência permanece como agenda de pesquisa futura.

No tocante ao quarto objetivo, foi desenvolvido o Painel de Indicadores de Eficiência, concebido como instrumento gerencial recorrente de monitoramento do desempenho operacional comparado da SERGAS. Sua estrutura integra os escores de eficiência técnica, as folgas operacionais por dimensão e o posicionamento da concessionária no *ranking* setorial, oferecendo aos gestores uma visão estruturada da posição da empresa em relação às melhores práticas observadas no setor, e recalculando a fronteira à medida que novos exercícios são incorporados. O instrumento, cuja versão se encontra anexa a esta dissertação, foi submetido a validação acadêmica e institucional, tendo sido aprovado formalmente pela concessionária para adoção como ferramenta de gestão. Registre-se, para fins de precisão quanto ao alcance dos achados, que a aprovação formal para uso não se confunde com a efetiva incorporação ao processo decisório da SERGAS, cuja aferição em operação de rotina constitui etapa posterior e integra a agenda de pesquisa futura.

Retomado o objetivo geral em sua formulação completa, cabe avaliar separadamente o grau de atendimento de cada um de seus componentes. O *benchmark* comparativo entre as concessionárias estaduais foi plenamente atendido, com o posicionamento da SERGAS estabelecido e submetido a verificações de robustez. A proposição do instrumento gerencial foi igualmente atendida: o Painel foi desenvolvido, validado e recebido formalmente pela concessionária. A integração à governança corporativa encontra-se, assim, formalmente estabelecida no plano institucional, restando à pesquisa futura a aferição empírica de seu uso efetivo e recorrente no ciclo decisório da empresa.

O achado central desta dissertação, a primeira colocação da SERGAS em preços constantes, deve ser lido dentro dos limites do modelo especificado. A posição foi submetida a um conjunto de verificações de robustez: mostrou-se estável ao controle de escala (retornos variáveis), à composição do painel (sensibilidade *leave-one-out*, em que a SERGAS permaneceu em primeira posição nas dez reestimações) e, no exame da mudança técnica pelo

índice de Malmquist, ao pressuposto de uma tecnologia comum ao período; mostrou-se sensível, por outro lado, ao tratamento do investimento (CAPEX), permanecendo, ainda assim, entre as três primeiras colocações sob todos os tratamentos testados. Essas verificações reforçam que o posicionamento não constitui artefato de escala nem da composição do painel; não permitem, contudo, atribuir o desempenho a mérito gerencial, uma vez que a eficiência técnica aqui medida não capta a qualidade da gestão, e o modelo de retornos variáveis atenua, mas não elimina, o efeito do porte. A análise identifica, assim, com robustez, onde a SERGAS se situa na fronteira do setor, mas não identifica com precisão por que ela ali se encontra.

Este estudo apresenta limitações que delimitam o alcance dos achados. O tamanho amostral (55 observações provenientes de 11 empresas, com 3 variáveis contextuais) limita o poder de detecção de associações de pequena magnitude na segunda etapa. Os escores de eficiência são medidas de *benchmarking* relativo, dependentes inteiramente da fronteira formada pelas 11 distribuidoras selecionadas, e não devem ser generalizados além desse recorte. O painel curto (5 anos por distribuidora) restringe a análise da dinâmica temporal, e a decomposição de Malmquist evidenciou que a fronteira se deslocou ao longo do período, de modo que a fronteira empilhada constitui simplificação sustentada pelo baixo deslocamento líquido, e não pela constância literal da tecnologia. A exclusão de concessionárias de controle predominantemente privado impede a comparação entre regimes de governança. Registra-se, ainda, a possível dupla contagem de capital entre a extensão da rede e o CAPEX, que compartilham parte da informação sobre investimento em infraestrutura, e o pressuposto de comparabilidade entre distribuidoras que operam em estados com perfis setoriais distintos, cuja verificação exigiria variáveis de controle mais granulares do que as disponíveis.

Como agenda de pesquisa futura, indicam-se cinco direções de avanço: (i) a construção de séries temporais mais longas, que viabilizariam a incorporação de defasagens ao CAPEX e o aprofundamento da análise de eficiência dinâmica; (ii) a inclusão de variáveis de gestão diretamente observadas, indicadores de qualidade do serviço, satisfação do consumidor e cumprimento de metas contratuais, que permitiriam avançar da posição para a explicação dos determinantes gerenciais do desempenho; (iii) a ampliação do escopo institucional, com a incorporação de concessionárias de controle privado, viabilizando a comparação entre regimes de governança; (iv) o tratamento das diferenças regionais de preços de insumos, complementando o deflacionamento temporal aqui adotado; e (v) o acompanhamento do uso do Painel de Indicadores, já aprovado pela concessionária, em ambiente real de gestão, aferindo sua efetiva incorporação e recorrência no processo decisório.

Soma-se a essas limitações a fragilidade da segunda etapa, derivada do pequeno número de unidades independentes e da possível violação da condição de separabilidade, o que recomenda cautela na eventual submissão dos resultados a revisão por pares da área de econometria. Não foi possível incluir a qualidade e a continuidade do serviço como segundo produto, por indisponibilidade de dados comparáveis. Por fim, variáveis de gestão não observadas, como perfil de recursos humanos, política de manutenção e organização administrativa, podem influenciar as folgas identificadas, e sua incorporação constitui agenda de pesquisa futura.

Em síntese, esta dissertação evidenciou que, no âmbito do painel analisado e do modelo especificado, a SERGAS posiciona-se junto à fronteira de eficiência técnica do setor de distribuição de gás natural no Brasil, oferecendo evidência comparativa atualizada e metodologicamente fundamentada. O estudo produz uma base técnica e um instrumento gerencial potencial; não avaliou a adoção pelo regulador, não operacionalizou variável regulatória e não mensurou impacto sobre tarifas, contratos ou decisões públicas. Assim, o aproveitamento desses resultados no processo regulatório apresenta-se como possibilidade futura, condicionada à incorporação de medidas regulatórias defensáveis. A transição do diagnóstico quantitativo ao instrumento gerencial recorrente, concretizada no Painel de Indicadores de Eficiência, desenvolvido, validado e aprovado formalmente pela concessionária para adoção, constitui a contribuição aplicada do trabalho, criando as condições para que a pesquisa não se esgote na produção de escores, mas possa incorporar-se ao processo decisório da empresa, contribuindo para a prestação de contas, o planejamento de investimentos e a sustentabilidade do serviço público de distribuição de gás natural canalizado no estado de Sergipe. A aferição empírica dessa incorporação em operação de rotina permanece como desdobramento natural da pesquisa.

REFERÊNCIAS

ACQUAVIVA, Tiago de Ávila. **Medidas regulatórias para a precificação adequada do gás natural em São Paulo.** Revista Debates em Economia Aplicada, Brasília, v. 3, n. 4, 2023. Disponível em: https://www.idp.edu.br. Acesso em: 19 jul. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Fator X e ganhos de eficiência empresarial**: Consulta Pública nº 64/2021-SRM/ANEEL — Relatório Técnico. Brasília: ANEEL, 2021. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/cedoc/air2021004srm.pdf. Acesso em: 16 nov. 2025.

AGÊNCIA REGULADORA DE SERVIÇOS PÚBLICOS DO ESTADO DE SERGIPE (AGRESE). **Relatório anual de atividades 2024.** Aracaju: AGRESE, 2025. Disponível em: https://www.agrese.se.gov.br. Acesso em: 21 jul. 2026.

ANDRADE, Gustavo Naciff de; SOARES DE MELLO, João Carlos Correia Baptista. **Network DEA para avaliar eficiência de distribuidoras de gás natural no Brasil.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 48., 2016, Vitória. Anais [...]. Rio de Janeiro: SOBRAPO, 2016. p. 1-12.

ANDRADE, Maria Nélida Sánchez; CORDEIRO, Adriana Tenório. **Avaliação de desempenho no setor público**: a perspectiva de servidores em uma instituição federal. Revista ReCaPe, São Paulo, v. 12, n. 2, p. 259-279, 2022. DOI: https://doi.org/10.23925/recape.v12i2.49959.

ASCHAUER, David Alan. **Is public expenditure productive?** Journal of Monetary Economics, v. 23, n. 2, p. 177-200, 1989. DOI: https://doi.org/10.1016/0304-3932(89)90047-0.

BACELLAR, Roberto Ramos; COSTALDELLO, Angela Cássia. **A regulação do petróleo e gás no Brasil**: uma crítica institucional ao desempenho das organizações. Revista do Serviço Público, v. 71, n. 2, p. 351-378, abr./jun. 2020. DOI: https://doi.org/10.21874/rsp.v71i2.4073.

BALDWIN, Robert; CAVE, Martin; LODGE, Martin. **Understanding regulation**: theory, strategy, and practice. 2. ed. Oxford: Oxford University Press, 2012.

BANCO MUNDIAL. **Infrastructure monitor 2024**: relatório executivo. Washington, DC: World Bank, 2025. Disponível em: https://openknowledge.worldbank.org. Acesso em: 23 jun. 2025.

BANDEIRA, Marcos Lima; GONÇALVES, Rodrigo Carvalho; CORRÊA FILHO, Carlos Roberto Ruchiga. **Desafios e oportunidades para o aprimoramento da regulação em infraestrutura no Brasil.** Revista do Serviço Público, Brasília, v. 75, n. 2, p. 311-340, abr./jun. 2024. DOI: https://doi.org/10.21874/rsp.v75i2.10341.

BANKER, Rajiv D.; CHARNES, Abraham; COOPER, William W. **Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis.** Management Science, v. 30, n. 9, p. 1078-1092, 1984. DOI: https://doi.org/10.1287/mnsc.30.9.1078.

BANKER, Rajiv D.; CHARNES, Abraham; COOPER, William W.; SWARTS, John; THOMAS, David A. **An introduction to data envelopment analysis with some of its models and their uses.** Research in Governmental and Nonprofit Accounting, v. 5, p. 125-163, 1989.

BARBOSA, Luciana Pereira; MOURA, Lyzette Gonçalves Moraes de; BARROS FILHO, Allan Kardec Duailibe. **Avaliação da expansão do gás natural como ponte para a transição energética no Brasil.** Latin American Journal of Energy Research, v. 11, n. 1, p. 1-11, 2024. Disponível em: https://periodicos.ufes.br/lajer/article/view/43404. Acesso em: 20 out. 2025.

BEHN, Robert D. **Why measure performance?** Different purposes require different measures. Public Administration Review, v. 63, n. 5, p. 586-606, 2003. DOI: https://doi.org/10.1111/1540-6210.00322.

BERNADES, Drielly Mazzarim; RIBEIRO, Daniel da Cunha; CHAVEZ, Gisele de Lorena Diniz. **Cenário atual do processamento e regulação de gás natural no Brasil.** In: AMBIÊNCIA, engenharia e sustentabilidade em diferentes espaços e direções. [S. l.]: Editora Científica, 2023. v. 2, p. 126-135. DOI: https://doi.org/10.37885/231215161.

BIGGAR, Darryl. **The role of cost benchmarking in public utility regulation.** Journal of Regulatory Economics, 2025. DOI: https://doi.org/10.1007/s11149-025-09493-w.

BOUCKAERT, Geert; HALLIGAN, John. **Managing performance**: international comparisons. London: Routledge, 2008.

BRASIL. **Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP).** A história do gás natural no Brasil. Brasília: ANP, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/acesso-a-informacao/institucional/historia-gn-brasil. Acesso em: 28 set. 2025.

BRASIL. **Empresa de Pesquisa Energética (EPE).** Liberalização de mercados de gás natural: experiências internacionais em programas de gas release. Rio de Janeiro: EPE, 2020. (Nota Técnica). Disponível em: https://www.epe.gov.br. Acesso em: 17 out. 2025.

BRASIL. **Empresa de Pesquisa Energética (EPE).** Plano Decenal de Expansão de Energia 2025. Brasília: MME; Rio de Janeiro: EPE, 2025. Disponível em: https://www.epe.gov.br. Acesso em: 17 out. 2025.

BRASIL. **Lei nº 13.303, de 30 de junho de 2016.** Dispõe sobre o estatuto jurídico da empresa pública, da sociedade de economia mista e de suas subsidiárias. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 1 jul. 2016. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2016/lei/l13303.htm. Acesso em: 15 jul. 2025.

BRASIL. **Ministério da Saúde.** Conselho Nacional de Saúde. Resolução nº 510, de 7 de abril de 2016. Dispõe sobre as normas aplicáveis a pesquisas em Ciências Humanas e Sociais. Diário Oficial da União, Brasília, DF, seção 1, p. 44-46, 24 maio 2016.

BRASIL. **Ministério de Minas e Energia.** Comitê de Monitoramento da Abertura do Mercado de Gás Natural (CMGN). Manual de boas práticas regulatórias. Brasília: MME, 2020. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/comite-de-monitoramento-da-abertura-do-mercado-de-gas-natural/arquivos/manual-de-boas-praticas-regulatorias.pdf. Acesso em: 21 jun. 2025.

BRESSER-PEREIRA, Luiz Carlos. **Reforma do Estado para a cidadania**: a reforma gerencial brasileira na perspectiva internacional. São Paulo: Editora 34, 1998.

BRITTO, Francisco Backheuser. **A indústria de gás natural brasileira e as implicações do Novo Mercado de Gás.** 2021. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Econômicas) — Departamento de Economia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

CAMERON, A. **Colin; MILLER, Douglas L.** A practitioner's guide to cluster-robust inference. Journal of Human Resources, v. 50, n. 2, p. 317-372, 2015. DOI: https://doi.org/10.3368/jhr.50.2.317.

CAPANEMA, Luciana Xavier de Lemos. **Reflexões sobre o desafio da universalização do saneamento a partir da implementação do novo marco legal.** Revista do BNDES, Rio de Janeiro, v. 29, n. 58, p. 423-460, dez. 2022. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/23107/1/PRArt_RB%2058_Reflexoes%20sobre%20o%20desafio.pdf. Acesso em: 3 dez. 2025.

CARDOSO, João Victor Marques et al. **Os desafios do mercado de gás natural no Brasil como potencial indutor da transição energética e da integração sul-americana.** Revista Tempo do Mundo, Brasília, n. 32, p. 97-132, ago. 2023. DOI: https://doi.org/10.38116/rtm32art3.

CARVALHO, Wagner Tarcísio de; VENDRAMETTO, Oduvaldo. **Nova matriz de gás natural no Brasil**: novas fronteiras, estímulo da oferta e desafios. Exacta, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 61-87, jan./mar. 2024. DOI: https://doi.org/10.5585/exactaep.2022.20893.

CELLARD, André. **A análise documental.** In: POUPART, Jean et al. A pesquisa qualitativa: enfoques epistemológicos e metodológicos. Petrópolis: Vozes, 2008. p. 295-316.

CHARNES, Abraham; COOPER, William W.; RHODES, Edwardo. **Measuring the efficiency of decision making units.** European Journal of Operational Research, v. 2, n. 6, p. 429-444, 1978. DOI: https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8.

MUSGRAVE, Richard A. **The theory of public finance**: a study in public economy. New York: McGraw-Hill, 1959.

QUENOUILLE, Maurice H. Notes on bias in estimation. **Biometrika**, Oxford, v. 43, n. 3-4, p. 353-360, 1956. DOI: https://doi.org/10.1093/biomet/43.3-4.353. Disponível em: https://academic.oup.com/biomet/article-abstract/43/3-4/353/345190. Acesso em: 30 jun. 2025.

TUKEY, John W. Bias and confidence in not-quite large samples (abstract). **The Annals of Mathematical Statistics**, v. 29, n. 2, p. 614, 1958. DOI: https://doi.org/10.1214/aoms/1177706647.

COELLI, Timothy J. **et al.** An introduction to efficiency and productivity analysis. 2. ed. New York: Springer, 2005.

CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA ENERGÉTICA (CNPE). **Resolução nº 16, de 24 de junho de 2019**. Estabelece diretrizes e aperfeiçoamentos de políticas energéticas voltadas à promoção da livre concorrência no mercado de gás natural, e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 2019.

COOK, Wade D.; SEIFORD, Lawrence M. **Data envelopment analysis (DEA) — thirty years on.** European Journal of Operational Research, v. 192, n. 1, p. 1-17, 2009. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.01.032.

COOPER, William W.; SEIFORD, Lawrence M.; TONE, Kaoru. **Data envelopment analysis**: a comprehensive text with models, applications, references and DEA-Solver software. 2. ed. New York: Springer, 2007. DOI: https://doi.org/10.1007/978-0-387-45283-8.

COOPER, William W.; SEIFORD, Lawrence M.; ZHU, Joe. **Data envelopment analysis**: history, models, and interpretations. 2. ed. New York: Springer, 2011. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6151-8.

CRESWELL, John W. **Research design**: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches. 4. ed. Thousand Oaks: SAGE Publications, 2021.

DINIZ, Josedilton Alves. **Eficiência das transferências intergovernamentais para a educação fundamental de municípios brasileiros.** 2012. Tese (Doutorado em Ciências Contábeis) — Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/12/12136/tde-29112012-164746/pt-br.php. Acesso em: 12 nov. 2025.

DUTRA, Joisa Campanher; SAMPAIO, Patrícia Regina Pinheiro (org.). **20 anos de concessões em infraestrutura no Brasil.** Rio de Janeiro: FGV Direito Rio, 2017.

DYSON, Robert G. **et al.** Pitfalls and protocols in DEA. European Journal of Operational Research, v. 132, n. 2, p. 245-259, 2001. DOI: https://doi.org/10.1016/S0377-2217(00)00149-1.

ELLER, Sanem L. **J.; HARTLEY, Peter R.; MEDLOCK III, Kenneth B.** Empirical evidence on the efficiency of natural gas distribution companies. The Energy Journal, v. 32, n. 1, p. 25-60, 2011. DOI: https://doi.org/10.5547/ISSN0195-6574-EJ-Vol32-No1-2.

ERTÜRK, Mehmet; TÜRÜT-AŞIK, Serap. **Regulatory aspects of natural gas distribution in Turkey.** In: EROĞLU, Muzaffer; FINGER, Matthias (ed.). The regulation of Turkish network industries. Cham: Springer, 2022. p. 417-438.

ESTACHE, Antonio; ROSSI, Martín A.; RUZZIER, Christian A. **The case for international coordination of electricity regulation**: evidence from benchmarking. World Bank Economic Review, v. 18, n. 3, p. 417-444, 2004. DOI: https://doi.org/10.1093/wber/lhh041.

FÄRE, Rolf; GROSSKOPF, Shawna; NORRIS, Mary; ZHANG, Zhongyang. **Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialized countries.** The American Economic Review, v. 84, n. 1, p. 66-83, 1994.

FARRELL, M. **J.** The measurement of productive efficiency. Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General), v. 120, n. 3, p. 253-290, 1957. DOI: https://doi.org/10.2307/2343100.

FERRARO, Marcelo Colomer; PINTO JUNIOR, Helder Queiroz. **O novo mercado de gás no Brasil**: desafios e oportunidades para a economia capixaba. Desenvolvimento Regional em Debate, Canoinhas, v. 15, p. 105-129, 2025.

FONTES FILHO, Joaquim Rubens; PICOLIN, Lidice Meireles. **Governança corporativa em empresas estatais**: avanços, propostas e limitações. Revista de Administração Pública, Rio de Janeiro, v. 42, n. 6, p. 1163-1188, nov./dez. 2008. DOI: https://doi.org/10.1590/S0034-76122008000600007.

FURTADO, Leonardo Lanna; CAMPOS, Gustavo Moura. **Eficiência técnica dos Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia.** In: CONGRESSO USP DE CONTROLADORIA E CONTABILIDADE, 15., 2015, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: FIPECAFI, 2015. Disponível em: https://congressousp.fipecafi.org/anais/15UspInternational/ArtigosDownload/157.pdf. Acesso em: 20 ago. 2025.

GARMATZ, Aline; VIEIRA, Guilherme Bergmann Borges; SIRENA, Sérgio Antonio. **Avaliação da eficiência técnica dos hospitais de ensino do Brasil utilizando a análise envoltória de dados.** Ciência & Saúde Coletiva, Rio de Janeiro, v. 26, supl. 2, p. 3447-3457, 2021. DOI: https://doi.org/10.1590/1413-81232021269.2.34632019.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 7. ed. São Paulo: Atlas, 2022.

GONÇALVES, Joyce da Silva. **A eficiência empresarial no contexto da regulação**: como balancear lucro e universalização. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 33., 2025. Anais [...]. Rio de Janeiro: ABES, 2025. Disponível em: https://abes-dn.org.br/anaiseletronicos/33cbesa/748_tema_v.pdf. Acesso em: 3 ago. 2025.

GRAMLICH, Edward M. **Infrastructure investment**: a review essay. Journal of Economic Literature, v. 32, n. 3, p. 1176-1196, 1994.

GUJARATI, Damodar N.; PORTER, Dawn C. **Econometria básica.** 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.

HAFNER, Manfred; LUCIANI, Giacomo (ed.). **The Palgrave handbook of international energy economics.** Cham: Palgrave Macmillan, 2022. E-book. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-86884-0.

HAIR JÚNIOR, Joseph F.; BLACK, William C.; BABIN, Barry J.; ANDERSON, Rolph E.; TATHAM, Ronald L. **Análise multivariada de dados.** 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HALKOS, George E.; TZEREMES, Nickolaos G. **A conditional nonparametric analysis for measuring the efficiency of regional gas distribution companies.** Energy Economics, v. 38, p. 113-122, 2013.DOI:https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.03.003.

HOFF, Ayoe. **Second stage DEA**: comparison of approaches for modelling the DEA score. European Journal of Operational Research, v. 181, n. 1, p. 425-435, 2007. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.05.019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA).** Rio de Janeiro: IBGE, 2025. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br. Acesso em: 20 jan. 2026.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **O papel do gás natural na transição para uma economia de baixo carbono**: desafios regulatórios e institucionais no Brasil. Brasília: IPEA, 2023. (Texto para Discussão, n. 2777).

JAMASB, Tooraj; POLLITT, Michael G. **Benchmarking and regulation of electricity transmission and distribution utilities**: lessons from international experience. Utilities Policy, v. 9, n. 3, p. 107-130, 2001. DOI: https://doi.org/10.1016/S0957-1787(00)00034-4.

JOSKOW, Paul L. **Incentive regulation in theory and practice**: electricity distribution and transmission networks. Review of Network Economics, v. 7, n. 4, p. 1-60, 2008.

JOSKOW, Paul L. **The expansion of incentive (performance-based) regulation of electricity distribution and transmission in the United States.** Review of Industrial Organization, v. 65, n. 2, p. 455-503, 2024.

LAFFONT, Jean-Jacques; TIROLE, Jean. **A theory of incentives in procurement and regulation.** Cambridge: MIT Press, 1993.

LAZZARINI, Sergio G.; MUSACCHIO, Aldo. **Reinventando o capitalismo de Estado**: o Leviatã nos negócios no Brasil e no mundo. São Paulo: Portfolio-Penguin, 2018.

LEVITA, Dann d'Avila. **Concessão do serviço de gás canalizado**: aspectos jurídicos, regulatórios e econômicos. RCMOS — Revista Científica Multidisciplinar O Saber, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 1-5, ago./dez. 2024. Disponível em: https://www.rcmos.com.br. Acesso em: 15 dez. 2025.

MACKINNON, James G.; WEBB, Matthew D. **Wild bootstrap inference for wildly different cluster sizes.** Journal of Applied Econometrics, v. 32, n. 2, p. 233-254, 2017. DOI: https://doi.org/10.1002/jae.2508.

MANKIW, N. **Gregory.** Introdução à economia. Tradução de Allan Vidigal Hastings et al. 6. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

MARINHO, Alexandre. **Operacionalização da avaliação de eficiência econômica.** Rio de Janeiro: IPEA, 2023. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstreams/8fbb8a80-1239-4919-a32c-9f35c06727e3/download. Acesso em: 18 out. 2025.

MARQUES, Francisco Roldineli Varela; BARBOSA, Alexandro; SIMÕES, Pedro; OLIVEIRA, Kelly Cristina de. **Governance and dynamic efficiency with network structure in the Brazilian natural gas utilities.** Applied Sciences, Basel, v. 14, n. 24, art. 11502, 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/app142411502.

MATTOS, César. **Novo mercado de gás no Brasil**: desverticalizando para a concorrência. In: SILVA, Mauro Santos (org.). Concessões e parcerias público-privadas: políticas públicas para provisão de infraestrutura. Brasília: IPEA, 2022. p. 399-434. DOI: https://doi.org/10.38116/978-65-5635-040-0/capitulo14.

MEGGINSON, William L.; NETTER, Jeffry M. **From state to market**: a survey of empirical studies on privatization. Journal of Economic Literature, Nashville, v. 39, n. 2, p. 321-389, jun. 2001. DOI: https://doi.org/10.1257/jel.39.2.321.

MENDES, Maria Tereza Lopes; THEOPHILO, Carlos Renato; MACEDO, Reginaldo Morais de. **Eficiência dos gastos públicos em educação**: um estudo dos municípios da mesorregião Norte de Minas com emprego da Análise Envoltória de Dados (DEA). In: CONGRESSO USP DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA EM CONTABILIDADE, 18., 2021, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: FIPECAFI, 2021. Disponível em: https://congressousp.fipecafi.org/anais/21UspInternational/ArtigosDownload/3285.pdf. Acesso em: 21 jul. 2025.

MORAIS, José Mauro de. **A nova lei do gás e a desconcentração no mercado de gás natural no Brasil.** IPEA Radar, n. 68, p. 1-16, dez. 2021.

NAUGES, Céline; VAN DEN BERG, Caroline H. **J.** M. Economies of density, scale and scope in the water supply and sewerage sector: a study of four developing and transition economies. Journal of Regulatory Economics, v. 34, n. 2, p. 144-163, out. 2008. DOI: https://doi.org/10.1007/s11149-008-9063-2.

OLIVEIRA, Atelmo Ferreira de; NIYAMA, Jorge Katsumi; MOTA, Renato Henrique Gurgel; SOUZA, Arlindo Nonato Morais de. **Análise envoltória de dados na avaliação da eficiência técnica das distribuidoras de energia elétrica brasileiras**: uma abordagem comparativa entre o índice de Malmquist e Window Analysis. Revista Ambiente Contábil, Natal, v. 10, n. 1, p. 178-199, jan./jun. 2018. Disponível em: https://periodicos.ufrn.br/ambiente/article/view/12404. Acesso em: 11 dez. 2025.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OCDE). **Competition enforcement and regulatory alternatives.** Paris: OECD Publishing, 2021. Disponível em: https://www.oecd.org/en/publications/competition-enforcement-and-regulatory-alternatives_38b0fdb1-en.html. Acesso em: 16 set. 2025.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OCDE). **OECD guiding principles for regulatory quality and performance.** Paris: OECD Publishing, 2007.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OCDE). **OECD regulatory policy outlook 2015.** Paris: OECD Publishing, 2015. DOI: https://doi.org/10.1787/9789264238770-en.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OCDE). **OECD regulatory policy outlook 2021.** Paris: OECD Publishing, 2021. DOI: https://doi.org/10.1787/38b0fdb1-en.

OSBORNE, David; GAEBLER, Ted. **Reinventando o governo**: como o espírito empreendedor está transformando o setor público. Brasília: MH Comunicação, 1994.

PAPI, Luciana Pazini. **O neoweberianismo para além da Europa**: uma operacionalização para pesquisas e aplicação no Brasil. Brasília: ENAP, 2024. 45 p. (Cadernos ENAP. Policy Paper, 5). Disponível em: https://repositorio.enap.gov.br/handle/1/8086. Acesso em: 16 ago. 2025.

PASSOS, Gabriela et al. **Comparação dos modelos regulatórios da distribuição de gás canalizado no Brasil, Argentina, EUA e União Europeia.** Revista Brasileira de Energia, v. 28, n. 1, p. 33-60, fev. 2022. DOI: https://doi.org/10.47168/rbe.v28i1.605.

PIRES, Adriano; CAMPOS FILHO, Leonardo. **Investimentos em setores de infraestrutura**: a questão da regulação do monopólio natural e a defesa da concorrência. In: CASTRO, Ana Célia (org.). Desenvolvimento em debate. Rio de Janeiro: Mauad: BNDES, 2002. v. 2, p. 281-303. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/13468. Acesso em: 22 set. 2025.

PORTO, Antônio José Maristrello; FRANCO, Paulo Fernando de Mello (org.). **Regulação, direito e economia.** Curitiba: Juruá, 2024. 328 p.

PUSCHEL, Ana Flávia Salgado; MUNCK, Luciano Rossoni; LAHOZ, Rodrigo Antônio Lazaro. **As metas de universalização do novo marco do saneamento básico e os desafios para assegurar o equilíbrio econômico-financeiro dos contratos de programa.** Revista de Direito Setorial e Regulatório, Brasília, v. 9, n. 1, p. 283-312, maio 2023. Disponível em: https://periodicos.unb.br/index.php/rdsr/article/download/43695/36818/154757. Acesso em: 22 dez. 2025.

RAY, Subhash C. **Data envelopment analysis**: theory and techniques for economics and operations research. Cambridge: Cambridge University Press, 2004.

ROCHA, Igor Lopes; RIBEIRO, Rafael Saulo Marques. **Infraestrutura no Brasil**: contexto histórico e principais desafios. In: SILVA, Mauro Santos (org.). Concessões e parcerias público-privadas: políticas públicas para provisão de infraestrutura. Brasília: IPEA, 2022. cap. 1, p. 23-44. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/11462. Acesso em: 23 ago. 2025.

SALES, Suelen Bianca de Oliveira; ESTEVES, Mariana Aguiar. **Regulação econômica por incentivos e seus reflexos nas agências reguladoras.** Revista Eletrônica Direito e Política, Itajaí, v. 16, n. 1, p. 306-323, 2021. Disponível em: https://www.univali.br/direitoepolitica. Acesso em: 16 set. 2025.

SANO, Hironobu; ABRUCIO, Fernando Luiz. **Promessas e resultados da Nova Gestão Pública no Brasil**: o caso das organizações sociais de saúde em São Paulo. Revista de Administração de Empresas, São Paulo, v. 48, n. 3, p. 64-80, jul./set. 2008. DOI: https://doi.org/10.1590/S0034-75902008000300007.

SANTOS, Cristiane; LOPES, Diego. **Projeto de tubulação de rede de distribuição de gás natural em área urbana no Rio de Janeiro.** Revista de Tecnologia da Universidade Santa Úrsula — TEC-USU, Rio de Janeiro, v. 5, n. 1, p. 1-17, jun. 2021. Disponível em: https://revistas.icesp.br/index.php/TEC-USU/article/view/2081. Acesso em: 15 dez. 2025.

SANTOS, Michael Robson dos; SCHNORRENBERGER, Darci. **Avaliação de desempenho individual na auditoria pública federal brasileira**: uma análise comparativa dos conceitos e de sua aplicação. Revista do TCU, Brasília, v. 153, n. 1, p. 111-144, jan./jun. 2024. DOI: https://doi.org/10.69518/RTCU.153.111-144.

SANTOS, Rodolfo Torres dos. **O desafio da universalização de serviços de infraestrutura.** Revista do BNDES, Rio de Janeiro, v. 29, n. 58, p. 253-299, dez. 2022. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/23087. Acesso em: 16 set. 2025.

SERGIPE GÁS S.A. **(SERGAS).** Sergas: 30 anos de compromisso e dedicação ao Estado de Sergipe. Aracaju: J. Andrade, 2023. 320 p. ISBN 978-85-8253-412-0.

SHLEIFER, Andrei. **A theory of yardstick competition.** RAND Journal of Economics, v. 16, n. 3, p. 319-327, 1985. DOI: https://doi.org/10.2307/2555560.

SIMAR, Léopold; WILSON, Paul W. **Estimation and inference in two-stage, semi-parametric models of production processes.** Journal of Econometrics, v. 136, n. 1, p. 31-64, 2007. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2005.07.009.

SOARES DE MELLO, João Carlos Correia Baptista et al. **Análise de envoltória de dados no estudo da eficiência e dos benchmarks para distribuidoras de energia elétrica brasileiras.** Produção, São Paulo, v. 15, n. 3, p. 343-352, set./dez. 2005. DOI: https://doi.org/10.1590/S0103-65132005000300006.

SOUZA, Leandro de Aguiar e. **A geografia das redes de distribuição de gás canalizado no Brasil**: concentrações, regulações e desenhos institucionais. Caminhos de Geografia, Uberlândia, v. 23, n. 90, p. 39-58, dez. 2022. DOI: https://doi.org/10.14393/RCG239060592.

TALLENS JUNIOR, Newton Krüger et al. **Formas de orientação e dimensões priorizadas nos sistemas de medição de desempenho no setor público**: uma revisão sistemática da literatura. Revista de Gestão e Secretariado, São Paulo, v. 14, n. 6, p. 10034-10056, 2023. DOI: https://doi.org/10.7769/gesec.v14i6.2366.

THANASSOULIS, Emmanuel. **DEA and its use in the regulation of water companies.** European Journal of Operational Research, Amsterdam, v. 127, n. 1, p. 1-13, 2000. DOI: https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00436-6.

THANASSOULIS, Emmanuel; PORTELA, Maria C. S.; DESPIĆ, Ozren**.** Data Envelopment Analysis: the mathematical programming approach to efficiency analysis. *In:* FRIED, Harold O.; LOVELL, C. A. Knox; SCHMIDT, Shelton S. (ed.). **The measurement of productive efficiency and productivity growth.** 2. ed. New York: Oxford University Press, 2008. p. 251-420. DOI: https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195183528.003.0003.

TOBIN, James. **Estimation of relationships for limited dependent variables.** Econometrica, v. 26, n. 1, p. 24-36, 1958. DOI: https://doi.org/10.2307/1907382.

TONE, Kaoru. **A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis.** European Journal of Operational Research, v. 130, n. 3, p. 498-509, 2001. DOI: https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00407-5.

TUPPER, Haroldo da Gama; RESENDE, Marcelo. **Eficiência e regulação econômica nos serviços de saneamento no Brasil.** Revista Brasileira de Economia, Rio de Janeiro, v. 58, n. 1, p. 119-140, jan./mar. 2004. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbe/a/jZ6p4z4d5gR4wV8JmX7rD4c/. Acesso em: 15 out. 2025.

UMAROVA, Irodakhon N. **Ways to form a competitive environment in the activities of natural monopoly enterprises.** American Journal of Economics and Business Management, v. 8, n. 7, p. 3568-3575, 2025.

YIN, Robert K. **Case study research and applications**: design and methods. 6. ed. Thousand Oaks: SAGE, 2018.

YUSUF, Noor; AL-ANSARI, Tareq. **Current and future role of natural gas supply chains in the transition to a low-carbon hydrogen economy**: a comprehensive review on integrated natural gas supply chain optimisation models. Energies, v. 16, n. 22, art. 7672, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/en16227672.

ZORIĆ, Jelena; HROVATIN, Nevenka; SCARSI, Gian Carlo. **Gas distribution benchmarking of utilities from Slovenia, the Netherlands and the United Kingdom.** Journal for Economic Forecasting, 2009.

APÊNDICE A – PRODUTO TÉCNICO-TECNOLÓGICO



PAINEL DE INDICADORES DE EFICIÊNCIA PARA O MONITORAMENTO DO DESEMPENHO OPERACIONAL DA SERGAS

Relatório técnico apresentado pela mestranda Isabella Sant' Anna Oliveira ao Mestrado Profissional em Administração Pública em Rede Nacional (PROFIAP), sob orientação do Professor Dr. Abimael Magno do Ouro Filho e sob coorientação do Professor Dr. Antônio Vinícius Silva Caldas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Administração Pública.



SUMÁRIO

Contexto de aplicação da proposta 04

Público-alvo da proposta 06

Situação problema 07

Objetivo da proposta 09

PTT - Proposta de Intervenção 10

Autoria da Proposta 12

Referências 13

Protocolo de Entrega da Proposta aos Praticantes 14

CONTEXTO DE APLICAÇÃO DA PROPOSTA

A Sergipe Gás S.A. (SERGAS), sociedade de economia mista criada em 1994 e vinculada ao Governo do Estado de Sergipe, é a concessionária responsável pela distribuição de gás natural canalizado no estado. Operando sob a regulação da Agência Reguladora de Serviços Públicos do Estado de Sergipe (AGRESE), atende a um mercado de escala relativamente reduzida quando comparado às grandes distribuidoras do Sudeste e do Nordeste, condição que dá contorno específico ao problema que esta proposta enfrenta.

No tempo social, a proposta situa-se em um momento de transformação do setor de gás natural brasileiro. A Nova Lei do Gás (Lei nº 14.134/2021) ampliou a abertura do mercado e a competição, ao mesmo tempo em que a Lei nº 13.303/2016 (Lei das Estatais) intensificou as exigências de governança e prestação de contas das empresas públicas. É um momento em que a avaliação objetiva de desempenho ganha centralidade na gestão das empresas públicas, o que confere oportunidade e relevância à proposta.

No espaço institucional, a proposta dirige-se à estrutura de governança da SERGAS, para quem métricas objetivas de eficiência favorecem a transparência e a gestão da companhia.



CONTEXTO DE APLICAÇÃO DA PROPOSTA

Alinhamento com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU:
A proposta alinha-se ao ODS 9 (Indústria, inovação e infraestrutura), ao subsidiar a gestão eficiente da infraestrutura de distribuição; e ao ODS 16 (Paz, justiça e instituições eficazes), ao fortalecer a transparência e a prestação de contas na gestão de uma empresa pública.



PÚBLICO-ALVO DA PROPOSTA

O público-alvo da proposta, os praticantes-líderes, isto é, os atores com competência e autonomia para implementá-la são o Conselho de Administração e Diretoria Executiva da SERGAS. São esses órgãos que detêm a atribuição de definir metas de desempenho, autorizar investimentos, prestar contas ao acionista controlador e conduzir o planejamento estratégico da companhia.

DADOS

- Órgão destinatário principal: SERGIPE GÁS S.A. Sociedade de economia mista estadual.









SITUAÇÃO PROBLEMA

Diagnóstico, análise e linha de intervenção

A SERGAS situa-se entre as menores concessionárias estaduais do país em extensão de rede, número de consumidores e volume distribuído. Esse porte reduzido levanta uma questão de gestão pública: até que ponto o tamanho compromete a eficiência operacional, e em que medida eventuais ineficiências seriam atribuíveis à gestão ou a restrições estruturais do território sergipano? Na ausência de um diagnóstico técnico comparativo a gestão interna fica sem parâmetros objetivos para a definição de metas e para tomada de decisão.

Para responder a essa questão, aplicou-se a Análise Envoltória de Dados (DEA), no modelo radial BCC, orientado a insumo e com retornos variáveis de escala, sobre um painel de 11 distribuidoras estaduais observadas de 2020 a 2024 (55 observações distribuidora-ano), com os valores monetários deflacionados para preços constantes de 2024. A escolha dos retornos variáveis é decisiva: ela isola a eficiência de gestão do efeito do porte, impedindo que a menor escala da SERGAS fosse confundida com ineficiência técnica. A análise foi complementada por uma segunda etapa (Simar e Wilson, 2007), que investigou se fatores contextuais, riqueza do estado, densidade demográfica, volume de mercado, se associam à eficiência.

Uma vez corrigidos os valores pela inflação, a SERGAS apresentou o maior escore médio de eficiência técnica (0,992, em escala de 0 a 1) entre as onze distribuidoras, integrando o grupo de companhias que operam junto à fronteira de melhores práticas do setor. O resultado mostrou-se robusto: ao refazer a análise removendo, uma a uma, cada concorrente, a SERGAS permaneceu em primeira posição em todos os casos.

A segunda etapa, por sua vez, não identificou associação estatisticamente conclusiva entre os fatores contextuais e a eficiência, o que afasta a explicação de que o desempenho decorreria de um ambiente de mercado favorável e, por consequência, desloca o foco da análise para as variáveis sob controle da própria gestão.

Diagnosticada a posição da SERGAS e constatado que o desempenho não se explica por fatores externos, a linha de intervenção escolhida foi a de converter esse diagnóstico técnico em um instrumento de gestão recorrente. Entre as estratégias possíveis, um relatório pontual, um parecer técnico isolado ou uma ferramenta de monitoramento contínuo, optou-se pela última, por ser a que responde ao chamado desafio do uso (Bouckaert; Halligan, 2008): o de que a produção de indicadores, por si só, não assegura sua incorporação à decisão. A intervenção materializa-se, assim, no Painel de Indicadores de Eficiência.

OBJETIVO DA PROPOSTA

O objetivo da proposta de intervenção é dotar a SERGAS de um instrumento gerencial recorrente de monitoramento do seu desempenho operacional comparado, capaz de traduzir os resultados da avaliação de eficiência técnica em subsídios objetivos para a decisão.
Especificamente, o painel visa:

(i) apresentar, de forma estruturada e atualizável, a posição relativa da SERGAS na fronteira de eficiência do setor;
(ii) evidenciar, por meio da leitura das folgas operacionais, as dimensões em que há margem de melhoria no uso dos recursos ou no atendimento; e
(iii) permitir o recálculo da fronteira à medida que novos exercícios são incorporados, mantendo o diagnóstico permanentemente atualizado. Dessa forma, o objetivo dá materialidade à linha de intervenção escolhida, operando a passagem da mensuração pontual à gestão contínua.



PTT – PROPOSTA DE INTERVENÇÃO

O produto técnico-tecnológico consiste em um Painel de Indicadores de Eficiência, desenvolvido como aplicação interativa de uso recorrente. A ferramenta integra, em uma única interface, três camadas de informação derivadas da metodologia aplicada na dissertação.

Funcionamento recorrente:
O diferencial do painel é a atualização recorrente: a cada novo exercício, a gestão insere os dados operacionais das distribuidoras e a ferramenta recalcula automaticamente a fronteira de eficiência, os escores, as folgas e o posicionamento no ranking. Assim, o instrumento não se esgota em um diagnóstico único, mas acompanha a evolução do desempenho ao longo do tempo.

LInk: https://isabella1311.github.io/PainelSergas/

Estrutura do painel:

A primeira camada apresenta o ranking de eficiência técnica das onze distribuidoras, com o escore de cada uma e o destaque da posição da SERGAS, permitindo a leitura imediata da posição relativa da companhia. A segunda camada exibe a trajetória anual da SERGAS ao longo do quinquênio, evidenciando os anos em que operou sobre a fronteira e aqueles de leve afastamento. A terceira camada apresenta a leitura das folgas operacionais por dimensão (OPEX, rede, CAPEX e atendimento), traduzindo o diagnóstico de eficiência em direções gerenciais concretas.



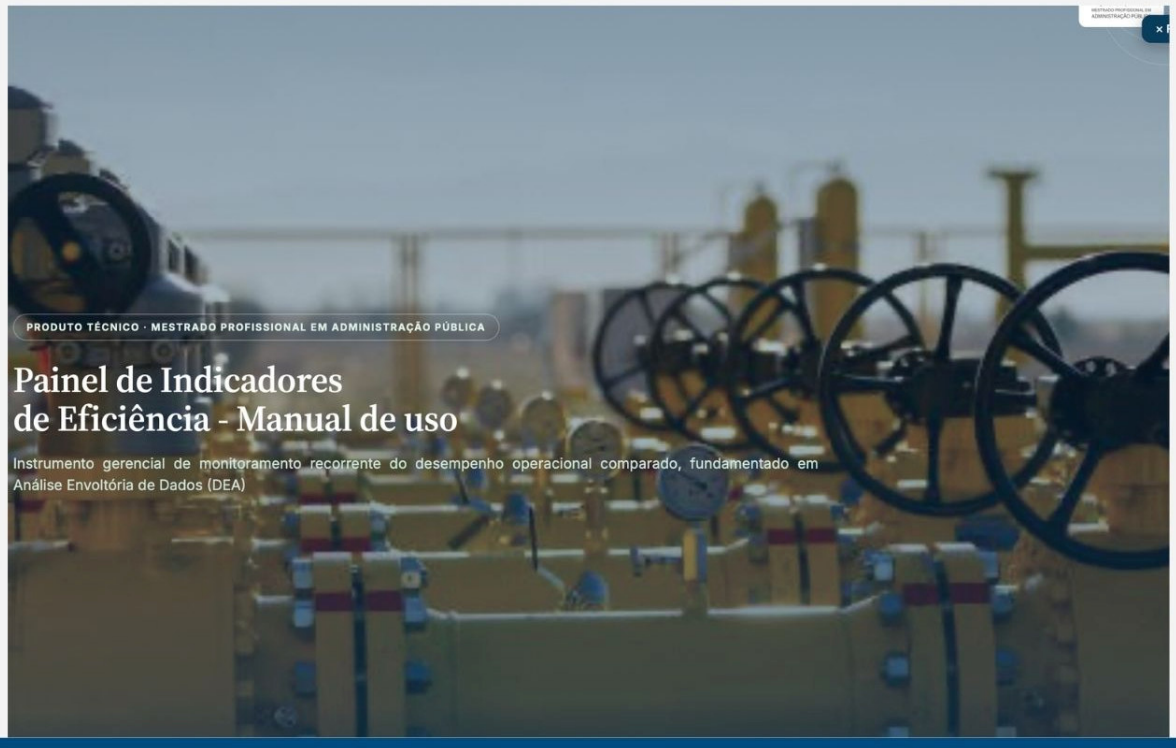
PTT – PROPOSTA DE INTERVENÇÃO

Como componente integrante do produto técnico, foi desenvolvido um Manual de Uso do Painel de Indicadores de Eficiência, destinado a orientar a apropriação da ferramenta pelos gestores. O manual cumpre uma função essencial: assegurar que o painel não apenas exista, mas seja efetivamente incorporado à rotina decisória da concessionária, respondendo diretamente ao chamado desafio do uso, segundo o qual a mera disponibilização de um instrumento não garante sua utilização.

Estruturado em linguagem acessível, o manual apresenta:

(i) o fundamento metodológico do painel, explicando de forma didática como a eficiência é medida e o que os escores significam;
(ii) as variáveis monitoradas (OPEX, extensão de rede, CAPEX e número de consumidores) e sua interpretação;
(iii) o roteiro de uso, com o passo a passo para inserir novos dados e recalcular a fronteira de eficiência a cada exercício;
(iv) as alavancas de melhoria, que traduzem os diferentes tipos de folga em direções de ação gerencial; e
(v) o valor do painel para a governança, conectando os resultados às exigências de transparência e prestação de contas da Lei nº 13.303/2016.

O manual foi concebido de forma integrada ao painel: acessível diretamente a partir da interface da ferramenta, ele acompanha o usuário no momento do uso, sem exigir a consulta a um documento externo. Essa integração reforça o caráter autossuficiente do produto e favorece sua adoção efetiva pela SERGAS.



AUTORIA DA PROPOSTA

Discente: Isabella Sant' Anna Oliveira — Mestranda do Programa de Mestrado Profissional em Administração Pública em Rede Nacional (PROFIAP).
E-mail: isabellaufs@academico.ufs.br

Orientador: Professor Dr. Abimael Magno do Ouro Filho

Coorientador: Professor Dr. Antônio Vinícius Silva Caldas

Data de finalização do documento: 04/08/2026.



REFERÊNCIAS

BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. Management Science, v. 30, n. 9, p. 1078-1092, 1984.

BEHN, Robert D. Why measure performance? Different purposes require different measures. Public Administration Review, v. 63, n. 5, p. 586-606, 2003. DOI: https://doi.org/10.1111/1540-6210.00322.

BOUCKAERT, Geert; HALLIGAN, John. Managing performance: international comparisons. Londres: Routledge, 2008.

BRASIL. Lei nº 13.303, de 30 de junho de 2016. Dispõe sobre o estatuto jurídico da empresa pública, da sociedade de economia mista e de suas subsidiárias, no âmbito da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios. Diário Oficial da União, Brasília, 1 jul. 2016. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2016/lei/l13303.htm. Acesso em: 15 jul. 2025.

BRASIL. Lei nº 14.134, de 8 de abril de 2021. Dispõe sobre as atividades relativas ao transporte de gás natural, de que trata o art. 177 da Constituição Federal (Nova Lei do Gás). Diário Oficial da União, Brasília, 9 abr. 2021. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/l14134.htm. Acesso em: 15 jul. 2025.

COELLI, Timothy J. et al. An introduction to efficiency and productivity analysis. 2. ed. New York: Springer, 2005.

FARRELL, M. J. The measurement of productive efficiency. Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General), v. 120, n. 3, p. 253-290, 1957.
JAMASB, T.; POLLITT, M. G. Benchmarking and regulation of electricity transmission and distribution utilities: lessons from international experience. Utilities Policy, v. 9, n. 3, p. 107-130, 2001.

LAZZARINI, Sergio G.; MUSACCHIO, Aldo. Reinventando o capitalismo de Estado: o Leviatã nos negócios no Brasil e no mundo. São Paulo: Portfolio-Penguin, 2018.
RAY, Subhash C. Data Envelopment Analysis: theory and techniques for economics and operations research. Cambridge: Cambridge University Press, 2004.
SHLEIFER, A. A theory of yardstick competition. RAND Journal of Economics, v. 16, n. 3, p. 319-327, 1985.

PROTOCOLO DE ENTREGA DA PROPOSTA AOS PRATICANTES

A Sergipe Gás S.A.

Pelo presente, encaminhamos o produto técnico-tecnológico intitulado "Painel de Indicadores de Eficiência para o monitoramento do desempenho operacional da SERGAS", derivado da dissertação de mestrado "EFICIÊNCIA TÉCNICA EM CONCESSIONÁRIAS ESTADUAIS DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL: UMA ANÁLISE COMPARATIVA COM APLICAÇÃO À SERGIPE GÁS S.A.", de autoria de Isabella Sant' Anna Oliveira.

Os documentos citados foram desenvolvidos no âmbito do Mestrado Profissional em Administração Pública em Rede Nacional (Profiap), instituição associada Universidade Federal de Sergipe .

A solução técnico-tecnológica é apresentada sob a forma de um sistema de apoio à decisão — o Painel de Indicadores de Eficiência — e seu propósito é dotar a SERGAS de um instrumento recorrente de monitoramento do seu desempenho operacional comparado, traduzindo os resultados da avaliação de eficiência técnica em subsídios objetivos para a decisão gerencial.

Solicitamos, por gentileza, que ações voltadas à implementação desta proposição sejam informadas à Coordenação Local do Profiap, por meio do endereço: profiap@academico.ufs.br e isabellaufs@academico.ufs.br.

Aracaju/SE ____ de _____ de 20 ___

Registro de recebimento

_____

Discente: Isabella Sant' Anna Oliveira,
Mestranda em Administração Pública

Orientador: Professor Dr. Abimael Magno do Ouro Filho
Universidade Federal de Sergipe

Coorientador: Professor Dr. Antônio Vinícius Silva Caldas
Universidade Federal de Sergipe

Data de finalização do documento 04/08/2026

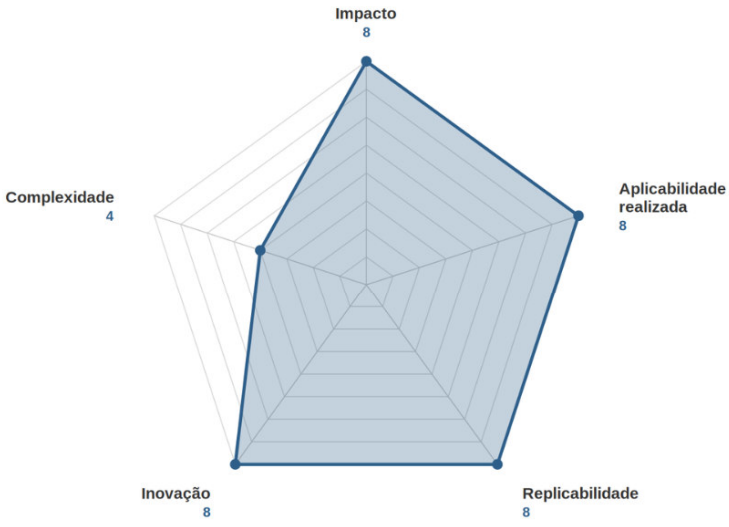
PROFIAP
MESTRADO PROFISSIONAL EM
ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA

ATRIBUTOS QUALIFICADORES DO PTT

Avaliação dos Produtos Técnicos Tecnológicos (PTTs)
CALCULADORA

Dimensão	Pontos
Impacto	8
Aplicabilidade realizada	8
Replicabilidade	8
Inovação	8
Complexidade	4
Pontuação Alcançada	**7**

Resultado		
Pontuação Mínima Alcançada	Estrato	Definição
8	**TA1**	**Melhor desempenho**
4	TA2	Desempenho muito bom
2	TA3	Bom desempenho
> 0	TA4	Desempenho regular



EVIDENCIAÇÃO DE IMPLEMENTAÇÃO E IMPACTO DA PROPOSTA

O Painel de Indicadores de Eficiência, produto técnico-tecnológico derivado desta dissertação, foi desenvolvido, submetido a validação acadêmica e institucional e aprovado formalmente pela Sergipe Gás S.A. (SERGAS) para adoção como ferramenta de gestão. A integração à governança corporativa da concessionária encontra-se, portanto, estabelecida no plano institucional. Registre-se, para precisão quanto ao alcance dos achados, que a aprovação formal para uso não se confunde com a efetiva incorporação ao processo decisório de rotina, cuja aferição empírica constitui etapa posterior e integra a agenda de pesquisa futura.

Impacto potencial
Uma vez incorporado ao ciclo decisório da concessionária, o Painel tende a produzir os seguintes efeitos:

- Subsidiar a avaliação de desempenho da SERGAS por meio de referência comparativa recorrente e atualizável frente às demais concessionárias estaduais de distribuição de gás natural;
- Informar o planejamento de investimentos, a partir da leitura das folgas operacionais, que distingue o uso excessivo de recursos do subatendimento de consumidores em relação ao potencial da infraestrutura;
- Reforçar a prestação de contas e a transparência exigidas das sociedades de economia mista pela Lei nº 13.303/2016, ao fornecer ao Conselho de Administração e à Diretoria um parâmetro objetivo de accountability;
- Contribuir, indiretamente e no médio prazo, para a modicidade tarifária e a sustentabilidade da infraestrutura de distribuição de gás natural canalizado no estado de Sergipe.

Essa informação poderá ser atualizada ao longo dos próximos três quadriênios avaliativos, à medida que novas evidências de uso e de impacto real forem acumuladas.

APÊNDICE B – MATRIZ DE DADOS (55 OBSERVAÇÕES DISTRIBUIDORA-ANO)

A matriz reúne as 55 observações que constituem as DMUs da análise. Os valores monetários são apresentados em duas colunas: nominais (reais correntes de cada ano) e deflacionados para preços constantes de 2024 pelo IPCA. As grandezas físicas (rede e consumidores) não sofrem deflação. A última coluna traz o escore de eficiência θ* estimado pelo modelo radial BCC-VRS orientado a insumo sobre os valores deflacionados.

Tabela 8 – Matriz de dados das 55 observações distribuidora-ano (2020–2024)

(continua)

DMU	UF	Ano	OPEX nom.	Rede	CAPEX nom.	OPEX 2024	CAPEX 2024	Cons.	θ*
ALGÁS	AL	2020	24.778	551.9	12.177	32.013	15.733	54.505	0,917
ALGÁS	AL	2021	23.576	571.4	11.607	28.124	13.846	56.966	1,000
ALGÁS	AL	2022	28.737	587	14.243	31.369	15.548	59.201	1,000
ALGÁS	AL	2023	30.679	614	30.296	32.020	31.620	61.628	1,000
ALGÁS	AL	2024	33.678	638	45.827	33.678	45.827	64.062	1,000
BAHIAGÁS	BA	2020	92.507	1049	68.321	119.519	88.271	60.424	0,551
BAHIAGÁS	BA	2021	110.738	1082	70.062	132.099	83.577	64.351	0,595
BAHIAGÁS	BA	2022	142.495	1142	136.200	155.548	148.676	71.288	0,673
BAHIAGÁS	BA	2023	185.497	1246	207.069	193.603	216.118	79.703	0,740
BAHIAGÁS	BA	2024	184.766	1314	203.624	184.766	203.624	88.090	0,817
CEGÁS	CE	2020	25.275	554.4	24.900	32.655	32.171	22.482	0,735
CEGÁS	CE	2021	37.955	607.3	31.400	45.277	37.457	24.122	0,535
CEGÁS	CE	2022	31.584	647.6	26.000	34.477	28.382	26.916	0,703
CEGÁS	CE	2023	34.500	647.6	38.500	36.008	40.182	29.342	0,676
CEGÁS	CE	2024	34.596	690	35.300	34.596	35.300	33.507	0,713
CIGÁS	AM	2020	30.413	149	26.000	39.294	33.592	4.500	1,000
CIGÁS	AM	2021	32.985	179	30.300	39.348	36.145	8.394	0,940
CIGÁS	AM	2022	40.829	239	46.400	44.569	50.650	12.600	0,780
CIGÁS	AM	2023	48.179	281	55.300	50.284	57.717	17.423	0,707
CIGÁS	AM	2024	52.063	317	51.300	52.063	51.300	23.000	0,690
COPERGÁS	PE	2020	45.528	932	56.040	58.822	72.404	52.244	0,483
COPERGÁS	PE	2021	53.443	997.6	54.470	63.752	64.977	62.369	0,615
COPERGÁS	PE	2022	61.172	1104.4	74.360	66.775	81.171	71.374	0,721
COPERGÁS	PE	2023	68.890	1118.9	103.700	71.900	108.232	82.501	0,896
COPERGÁS	PE	2024	75.857	1207	143.580	75.857	143.580	95.430	1,000
GASMIG	MG	2020	65.187	1300	42.600	84.222	55.039	60.128	0,455
GASMIG	MG	2021	75.577	1479	43.500	90.156	51.891	71.236	0,769
GASMIG	MG	2022	89.538	1537	55.000	97.740	60.038	81.201	1,000
GASMIG	MG	2023	102.549	1675	301.900	107.030	315.093	95.887	0,740
GASMIG	MG	2024	114.732	1800	358.400	114.732	358.400	103.885	1,000
MSGÁS	MS	2020	28.977	367.9	16.780	37.438	21.680	10.616	0,700
MSGÁS	MS	2021	31.503	406	22.400	37.580	26.721	12.817	0,668
MSGÁS	MS	2022	33.077	436.2	18.000	36.107	19.649	14.526	0,682
MSGÁS	MS	2023	34.690	466	29.000	36.206	30.267	18.044	0,671
MSGÁS	MS	2024	32.960	513	28.800	32.960	28.800	22.583	0,728
PBGÁS	PB	2020	18.476	335	4.065	23.871	5.252	20.000	1,000
PBGÁS	PB	2021	20.467	345	9.138	24.415	10.901	22.000	0,983
PBGÁS	PB	2022	23.761	355	6.081	25.938	6.638	25.000	0,985
PBGÁS	PB	2023	24.789	365	11.318	25.872	11.813	28.000	0,943
PBGÁS	PB	2024	24.498	380	11.193	24.498	11.193	32.000	1,000

(conclusão)

DMU	UF	Ano	OPEX nom.	Rede	CAPEX nom.	OPEX 2024	CAPEX 2024	Cons.	θ*
POTIGÁS	RN	2020	26.205	459	5.860	33.857	7.571	29.168	0,975
POTIGÁS	RN	2021	28.724	475	7.700	34.265	9.185	33.584	0,916
POTIGÁS	RN	2022	30.416	489	10.850	33.202	11.844	36.000	0,799
POTIGÁS	RN	2023	35.037	520	12.100	36.568	12.629	42.251	0,838
POTIGÁS	RN	2024	38.510	557	22.000	38.510	22.000	46.000	0,679
SCGÁS	SC	2020	56.486	1259	45.500	72.980	58.786	16.733	0,327
SCGÁS	SC	2021	61.827	1344	71.600	73.753	85.412	18.634	0,324
SCGÁS	SC	2022	73.873	1434	100.580	80.640	109.793	23.015	0,298
SCGÁS	SC	2023	81.338	1531	120.700	84.892	125.975	25.890	0,285
SCGÁS	SC	2024	86.002	1613	107.000	86.002	107.000	30.039	0,284
SERGAS	SE	2020	32.539	250.3	6.857	42.040	8.859	32.808	1,000
SERGAS	SE	2021	21.155	265.2	11.353	25.236	13.543	33.719	1,000
SERGAS	SE	2022	24.430	283.1	14.446	26.668	15.769	36.203	0,983
SERGAS	SE	2023	25.558	313	16.638	26.675	17.365	41.141	0,977
SERGAS	SE	2024	26.021	329.1	13.267	26.021	13.267	45.368	1,000

Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Nota: Valores nominais coletados de relatórios setoriais; deflacionamento pelo IPCA (IBGE). θ* estimado pela autora.

APÊNDICE C – DICIONÁRIO DE VARIÁVEIS

Descrição das variáveis utilizadas na pesquisa, com tipo, unidade e papel na análise.

Quadro 6 – Dicionário de variáveis

Variável	Tipo	Descrição e unidade	Papel
DMU	Categórica	Distribuidora (11 categorias, sigla)	Identificador
UF	Categórica	Unidade da federação	Identificador
Ano	Discreta	Exercício, 2020 a 2024	Identificador temporal
OPEX	Contínua	Despesas operacionais (R$ mil); usada em preços de 2024	Insumo 1 (DEA)
Extensão de rede	Contínua	Malha de distribuição (km)	Insumo 2 (DEA)
CAPEX	Contínua	Investimentos (R$ mil); usada em preços de 2024	Insumo 3 (DEA)
Nº de consumidores	Contínua	Unidades consumidoras atendidas	Produto (DEA)
Volume de gás	Contínua	Gás distribuído (mil m³/ano)	Contexto (2ª etapa)
PIB per capita (Z1)	Contínua	PIB estadual por habitante (R$ mil)	Contexto (2ª etapa)
Densidade (Z2)	Contínua	Densidade demográfica estadual (hab/km²)	Contexto (2ª etapa)
Deflator IPCA	Calculada	Fator base 2024 (=1 em 2024)	Tratamento de dados
θ* (BCC-VRS input)	Calculada	Escore de eficiência técnica [0,1]	Resultado (1ª etapa)

Fonte: Elaborado pela autora (2026), com base no dicionário de dados da análise estatística.

APÊNDICE D – ESCORES DE EFICIÊNCIA POR DISTRIBUIDORA E ANO

Escores θ* do modelo radial BCC-VRS orientado a insumo, em preços constantes de 2024, para cada distribuidora em cada exercício. A última coluna traz a média do quinquênio, base do ordenamento apresentado no Capítulo 4.

Tabela 9 – Escores de eficiência técnica (BCC) por distribuidora e ano (2020–2024)

Distribuidora	2020	2021	2022	2023	2024	Média
SERGAS	1,000	1,000	0,983	0,977	1,000	0,992
ALGÁS	0,917	1,000	1,000	1,000	1,000	0,983
PBGÁS	1,000	0,983	0,985	0,943	1,000	0,982
POTIGÁS	0,975	0,916	0,799	0,838	0,679	0,841
CIGÁS	1,000	0,940	0,780	0,707	0,690	0,823
GASMIG	0,455	0,769	1,000	0,740	1,000	0,793
COPERGÁS	0,483	0,615	0,721	0,896	1,000	0,743
MSGÁS	0,700	0,668	0,682	0,671	0,728	0,690
BAHIAGÁS	0,551	0,595	0,673	0,740	0,817	0,675
CEGÁS	0,735	0,535	0,703	0,676	0,713	0,672
SCGÁS	0,327	0,324	0,298	0,285	0,284	0,303

Fonte: Elaborado pela autora (2026).
Nota: Valor 1,000 indica operação sobre a fronteira no respectivo ano.

APÊNDICE E – SCRIPT DE ANÁLISE (R)

Código-fonte que reproduz integralmente os resultados apresentados, do carregamento dos dados à estimação da fronteira, do segundo estágio de Simar-Wilson e das análises de robustez. Reproduzido na íntegra para fins de auditabilidade.

```
##########################################################################
# Eficiência Técnica da SERGÁS — DEA radial BCC-VRS + Simar-Wilson (refit v2.4)
# PROFIAP/UFS — Isabela Oliveira | Orientador: Abimael Magno do Ouro-Filho
# EFISciencia Consultoria Estatística — Ikaro Barreto, Estatístico
#
# Script reproduzível de ponta a ponta do relatório vigente (v2.4 — refit).
# Reproduz, a partir do dado BRUTO (01_dados/bruto/*.xlsx), TODOS os números e
# as 7 figuras do relatório. Consolida os scripts de produção 15–18
# (02_producao/scripts/) num único entregável; nenhuma metodologia foi
# recalculada ou alterada — apenas reunida e comentada.
#
# ------------------------------------------------------------------------
# MÉTODO (refit v2.4, validado por Daniel/Joshua/Isaiah):
#   1º estágio  — DEA radial BCC-VRS ORIENTADO A INPUT (Banker-Charnes-Cooper
#                 1984), painel empilhado de 55 DMU-ano (11 distribuidoras ×
#                 5 anos, 2020-2024). Insumos: OPEX, Extensão de Rede, CAPEX.
#                 Produto: Número de Consumidores. Rodado em preços NOMINAIS e
#                 em preços CONSTANTES de 2024 (deflação IPCA de OPEX/CAPEX).
#   Deflação    — IPCA base 2024 (IBGE/SIDRA t1737/v2266), aplicada só a
#                 OPEX/CAPEX. Inflação acumulada 2020→2024 = 29,20%.
#   2º estágio  — Simar-Wilson (2007) Algoritmo 2 (rDEA::dea.env.robust,
#                 L1=100, L2=2000) explicando a ineficiência por Z1 (PIB per
#                 capita), Z2 (densidade demográfica) e Z3 (volume de gás,
#                 milhões m³). Inferência por 4 vias: (i) IC nativo do
#                 Simar-Wilson; (ii) bootstrap pareado por cluster (11
#                 empresas); (iii) CR2/Satterthwaite; (iv) wild cluster
#                 bootstrap (Rademacher, H0 restrita).
#   Complementos— Índice de Malmquist (real, input VRS); maturação do CAPEX;
#                 leave-one-out (LOO) por DMU (10 cenários deflacionados);
#                 leitura do 2º estágio por empresa (resíduo contextual).
#
# Semente global: 20260728 (fixa a reprodução do bootstrap/Simar-Wilson).
#
# Pacotes: rDEA, Benchmarking, dplyr, tibble, truncreg, clubSandwich,
#          jsonlite, tidyverse, ggpubr, readxl, purrr, stringr
##########################################################################


suppressMessages({
  library(tidyverse)      # dplyr, tibble, purrr, stringr, ggplot2, tidyr, ...
  library(readxl)
  library(rDEA)
  library(Benchmarking)
  library(truncreg)
  library(clubSandwich)
  library(jsonlite)
  library(ggpubr)
})


set.seed(20260728)
## Obs.: options(OutDec=",") é definido só APÓS a carga (Bloco 1) — se ativado
## antes, o readxl formata células numéricas de colunas mistas com vírgula e o
## as.numeric da auditoria falha. A vírgula decimal vale para os outputs impressos.


## ---- Caminhos (ajustar apenas base_dir ao rodar em outra máquina) ----
base_dir      <- "D:/Ikaro Barreto/EFISciencia/Clientes/I/Isabela Oliveira"
path_dea      <- file.path(base_dir, "01_dados/bruto/Dados_DEA.xlsx")
path_tobit    <- file.path(base_dir, "01_dados/bruto/Painel_Tobit_SERGAS.xlsx")
dir_analitico <- file.path(base_dir, "01_dados/analitico")
dir_figuras   <- file.path(base_dir, "02_producao/outputs/figuras")
dir_refit     <- file.path(base_dir, "02_producao/outputs/refit")
for (d in c(dir_analitico, dir_figuras, dir_refit))
  dir.create(d, showWarnings = FALSE, recursive = TRUE)


sink(file.path(dir_refit, "log_refit.txt"), split = TRUE)
cat("===== REFIT ISABELA — radial BCC-VRS input + Simar-Wilson Alg.2 + deflação IPCA =====\n\n")


##########################################################################
## BLOCO 1 — AUDITORIA E CARGA DA BASE BRUTA (wide/long a partir do XLSX)
##########################################################################
## Reconstrói dea_wide (entrada do DEA) e tobit_panel (variáveis contextuais
## Z) diretamente das planilhas brutas, com os checks de auditoria da casa.
## VOLUME DE GÁS não entra no 1º estágio — vira Z3 (controle de escala) no 2º.
```

```
raw_dea <- read_excel(path_dea, sheet = "Planilha2", col_names = FALSE)
anos <- raw_dea[2, 3:7] |> unlist() |> as.numeric()
dmu_names_full <- raw_dea[[1]]
dmu_rows <- which(!is.na(dmu_names_full) & dmu_names_full != "CDL")


dea_long <- map_dfr(dmu_rows, function(r) {
  nome_completo <- dmu_names_full[[r]]
  sigla <- str_trim(str_split_i(nome_completo, " – ", 1))
  block <- raw_dea[r:(r + 4), ]
  tibble(
    dmu_sigla = sigla,
    dmu_nome  = nome_completo,
    variavel  = rep(block[[2]], times = 5),
    unidade   = rep(block[[8]], times = 5),
    ano       = rep(anos, each = 5),
    valor     = as.numeric(unlist(block[, 3:7]))
  )
})


## Checks de auditoria: dimensão esperada, faltantes, valores impossíveis.
stopifnot(nrow(dea_long) == 11 * 5 * 5, sum(is.na(dea_long$valor)) == 0,
          all(dea_long$valor > 0))


## Wide (uma linha por DMU-ano) — formato de entrada do DEA.
dea_wide <- dea_long |>
  select(dmu_sigla, dmu_nome, ano, variavel, valor) |>
  pivot_wider(names_from = variavel, values_from = valor) |>
  rename(
    OPEX = OPEX,
    EXTENSAO_REDE_KM = `EXTENSAO DE REDE`,
    CAPEX = CAPEX,
    VOLUME_GAS_MIL_M3 = `VOLUME DE GÁS`,
    NUM_CONSUMIDORES = `NÚMERO DE CONSUMIDORES`
  ) |>
  arrange(dmu_sigla, ano)


## Base contextual (painel Tobit original: fornece Z1/Z2/Z3). O escore E* e o
## Z4 (nº consumidores, = produto do 1º estágio) NÃO são usados aqui.
tobit_panel <- read_excel(path_tobit, sheet = "Tobit") |>
  rename(
    dmu_sigla = DMU, uf = UF, ano = Ano,
    Z1_pib_per_capita = Z1_PIB_per_capita,
    Z2_densidade_demografica = Z2_densidade_demografica,
    Z3_volume_gas_mil_m3 = Z3_volume_gas_mil_m3
  ) |>
  arrange(dmu_sigla, ano)


## Reescala das contextuais (Z1 em R$ mil; Z3 em milhões de m³/ano) — pura
## reparametrização linear que estabiliza o 2º estágio; não altera inferência.
tobit_panel <- tobit_panel |>
  mutate(
    Z1_pib_per_capita_mil    = Z1_pib_per_capita / 1000,
    Z3_volume_gas_milhoes_m3 = Z3_volume_gas_mil_m3 / 1000
  ) |>
  arrange(dmu_sigla, ano)


stopifnot(nrow(tobit_panel) == 55,
          setequal(dea_wide$dmu_sigla, tobit_panel$dmu_sigla))


options(OutDec = ",")     # vírgula decimal nos outputs impressos (pós-carga)


## Matrizes-base do DEA (dw e tp ficam alinhados linha a linha por dmu_sigla/ano).
dw <- dea_wide  |> arrange(dmu_sigla, ano)
tp <- tobit_panel |> arrange(dmu_sigla, ano)
Y  <- as.matrix(dw[, "NUM_CONSUMIDORES"])
Z  <- as.matrix(tp[, c("Z1_pib_per_capita_mil", "Z2_densidade_demografica", "Z3_volume_gas_milhoes_m3")])


## Estimador radial BCC-VRS orientado a input (usado em todos os blocos).
theta <- function(X)
  as.numeric(rDEA::dea(XREF = X, YREF = Y, X = X, Y = Y, model = "input", RTS = "variable")$thetaOpt)


## Utilitário: ranking por firma (média do θ* no período).
rk <- function(th) {
  tibble(firm = dw$dmu_sigla, th = th) |>
    group_by(firm) |> summarise(media = mean(th), .groups = "drop") |>
    arrange(desc(media)) |> mutate(pos = row_number())
}


########################################################################
```

```
## BLOCO 2 — 1º ESTÁGIO: DEA RADIAL BCC-VRS INPUT (PREÇOS NOMINAIS)
################################################################################
Xn <- as.matrix(dw[, c("OPEX", "EXTENSAO_REDE_KM", "CAPEX")])
th_n <- theta(Xn)
rank_nom <- rk(th_n)
cat("\n-- Ranking radial NOMINAL (SERGÁS pos",
    rank_nom$pos[rank_nom$firm == "SERGÁS"], ") --\n"); print(rank_nom, n = Inf)


################################################################################
## BLOCO 3 — DEFLAÇÃO IPCA (base 2024) + 1º ESTÁGIO EM PREÇOS CONSTANTES
################################################################################
## Caminho canônico: baixa o número-índice do IPCA (IBGE/SIDRA t1737/v2266,
## jan/2020–dez/2024) e calcula o deflator base 2024 = idx[2024]/idx[ano].
## Fallback offline: deflatores oficiais materializados na execução original
## (2026-07-28), em precisão dupla — preservam a reprodução exata do 1º estágio
## deflacionado quando a API do SIDRA está inacessível (ex.: rede corporativa).
## Em ambos os casos a DEFLAÇÃO é reproduzida (OPEX/CAPEX nominais × deflator),
## não apenas carregada de uma base pré-deflacionada.
defl <- tryCatch({
  ipca <- as.data.frame(jsonlite::fromJSON(
    "https://apisidra.ibge.gov.br/values/t/1737/n1/1/v/2266/p/202001-202412"))
  di <- ipca[-1, ]
  di$ano <- as.integer(substr(di$D3C, 1, 4))
  di$val <- as.numeric(gsub(",", ".", di$V))
  d <- di |> filter(!is.na(val)) |> group_by(ano) |>
    summarise(idx = mean(val), .groups = "drop") |>
    mutate(deflator_p2024 = idx[ano == 2024] / idx) |>
    select(ano, deflator_p2024)
  if (nrow(d) != 5 || any(!is.finite(d$deflator_p2024)))
    stop("payload SIDRA inesperado")
  message("Deflator IPCA obtido ao vivo da API SIDRA (IBGE t1737/v2266).")
  d
}, error = function(e) {
  message("API SIDRA inacessível (", conditionMessage(e),
          "). Usando deflatores oficiais materializados (2026-07-28).")
  tibble(ano = 2020:2024,
         deflator_p2024 = c(1.2919517908095908, 1.1929196595158593,
                            1.0916164910547510, 1.0436746407652333, 1))
})
cat("\nDeflatores IPCA base 2024:\n"); print(as.data.frame(defl))


## Base real (R$ mil de 2024): objeto NOVO, não sobrescreve a base v1.9.
dw_real <- dw |> left_join(defl, by = "ano") |>
  mutate(OPEX_real = OPEX * deflator_p2024, CAPEX_real = CAPEX * deflator_p2024)
saveRDS(dw_real, file.path(dir_analitico, "etapa_refit_base_real.rds"))


Xr <- as.matrix(dw_real[, c("OPEX_real", "EXTENSAO_REDE_KM", "CAPEX_real")])
th_r <- theta(Xr)
rank_real <- rk(th_r)
cat("\n-- Ranking radial DEFLACIONADO (SERGÁS pos",
    rank_real$pos[rank_real$firm == "SERGÁS"], ") --\n"); print(rank_real, n = Inf)


saveRDS(list(scores_nom = th_n, scores_real = th_r,
             rank_nom = rank_nom, rank_real = rank_real),
        file.path(dir_refit, "etapa1_radial.rds"))


################################################################################
## BLOCO 4 — 2º ESTÁGIO: SIMAR-WILSON ALGORITMO 2 + 4 VIAS DE INFERÊNCIA
################################################################################
## (i) IC nativo Simar-Wilson (assume as 55 DMU-ano independentes);
## (ii) bootstrap pareado por cluster (11 empresas);
## (iii) CR2 + graus de liberdade de Satterthwaite;
## (iv) wild cluster bootstrap restrito (Rademacher), p-valor por H0 manual.
cat("\n-- Simar-Wilson Alg.2 (dea.env.robust, L1=100, L2=2000, real) --\n")
sw <- rDEA::dea.env.robust(X = Xr, Y = Y, Z = Z, model = "input",
                           RTS = "variable", L1 = 100, L2 = 2000, alpha = 0.05)
print(round(sw$beta_hat, 5)); print(round(sw$beta_ci, 5))
delta <- as.numeric(sw$delta_hat_hat)
dat <- data.frame(delta = delta, Z1 = Z[, 1], Z2 = Z[, 2], Z3 = Z[, 3],
                  firm = factor(dw_real$dmu_sigla))


## (ii) bootstrap pareado por cluster de empresa sobre a regressão truncada.
fit0 <- truncreg(delta ~ Z1 + Z2 + Z3, data = dat, point = 1, direction = "left")
b0 <- coef(fit0); cn <- names(b0)
firms <- levels(dat$firm); B <- 2000
bmat <- matrix(NA_real_, B, length(b0), dimnames = list(NULL, cn))
for (bi in 1:B) {
  s  <- sample(firms, length(firms), replace = TRUE)
  db <- bind_rows(lapply(s, function(i) dat[dat$firm == i, ]))
  fb <- tryCatch(suppressWarnings(
    truncreg(delta ~ Z1 + Z2 + Z3, data = db, point = 1, direction = "left")),
    error = function(e) NULL)
  if (!is.null(fb) && grepl("success", fb$est$message, ignore.case = TRUE))
    bmat[bi, ] <- coef(fb)[cn]
}
```

```
pairs_ci <- t(apply(bmat[complete.cases(bmat), ], 2, quantile, probs = c(.025, .975)))


## (iii) CR2 / Satterthwaite sobre o análogo linear com cluster de empresa.
m   <- lm(delta ~ Z1 + Z2 + Z3, data = dat)
cr2 <- clubSandwich::coef_test(m, vcov = "CR2", cluster = dat$firm, test = "Satterthwaite")


## (iv) wild cluster bootstrap restrito (Rademacher), estatística t clusterizada.
Xm <- model.matrix(~ Z1 + Z2 + Z3, dat); y <- dat$delta; fr <- dat$firm
G <- nlevels(fr); N <- nrow(Xm); K <- ncol(Xm)
XtXi <- solve(crossprod(Xm)); cl <- split(1:N, fr)
crt <- function(ys) {
  b <- XtXi %*% crossprod(Xm, ys); u <- ys - Xm %*% b
  mt <- matrix(0, K, K)
  for (g in cl) { Xg <- Xm[g, , drop = FALSE]; s <- crossprod(Xg, u[g]); mt <- mt + tcrossprod(s) }
  V <- (G / (G - 1)) * ((N - 1) / (N - K)) * XtXi %*% mt %*% XtXi
  as.numeric(b) / sqrt(diag(V))
}
tobs <- crt(y)
wcb <- sapply(2:4, function(j) {
  Xrr <- Xm[, -j, drop = FALSE]
  br  <- solve(crossprod(Xrr)) %*% crossprod(Xrr, y)
  ur  <- as.numeric(y - Xrr %*% br); to <- abs(tobs[j]); c <- 0
  for (b in 1:1999) {
    w <- sample(c(-1, 1), G, TRUE)[as.integer(fr)]
    if (abs(crt(as.numeric(Xrr %*% br + w * ur))[j]) >= to) c <- c + 1
  }
  (c + 1) / 2000
})


inferencia <- tibble(
  termo = c("Z1", "Z2", "Z3"),
  beta_SW = sw$beta_hat[2:4], SW_inf = sw$beta_ci[2:4, 1], SW_sup = sw$beta_ci[2:4, 2],
  pairs_inf = pairs_ci[2:4, 1], pairs_sup = pairs_ci[2:4, 2],
  CR2_p = cr2$p_Satt[2:4], CR2_df = round(cr2$df_Satt[2:4], 1), WCB_p = wcb)
cat("\n== TABELA DE INFERÊNCIA (2º estágio) ==\n"); print(as.data.frame(inferencia), digits = 4)
saveRDS(list(sw = sw, inferencia = inferencia),
        file.path(dir_refit, "etapa2_sw_inferencia.rds"))


# ============================================================================
## BLOCO 5 — ÍNDICE DE MALMQUIST (real, input VRS)
# ============================================================================
gm <- function(v) { v <- v[is.finite(v) & v > 0]; exp(mean(log(v))) }
gxy <- function(a) {
  d <- dw_real |> filter(ano == a) |> arrange(dmu_sigla)
  list(X = as.matrix(d[, c("OPEX_real", "EXTENSAO_REDE_KM", "CAPEX_real")]),
       Y = as.matrix(d[, "NUM_CONSUMIDORES"]), id = d$dmu_sigla)
}
anos_m <- sort(unique(dw_real$ano)); mout <- list()
for (i in 1:(length(anos_m) - 1)) {
  a0 <- gxy(anos_m[i]); a1 <- gxy(anos_m[i + 1])
  mm <- Benchmarking::malmq(X0 = a0$X, Y0 = a0$Y, ID0 = a0$id,
                            X1 = a1$X, Y1 = a1$Y, ID1 = a1$id,
                            RTS = "vrs", ORIENTATION = "in")
  mout[[i]] <- tibble(transicao = paste0(anos_m[i], "->", anos_m[i + 1]),
                      MPI = gm(mm$m), TC = gm(mm$tc), EC = gm(mm$ec))
}
malm <- bind_rows(mout)
cat("\n-- Malmquist por transição (TC geral =",
    round(gm(unlist(lapply(mout, function(x) x$TC))), 4), ") --\n"); print(malm)
saveRDS(malm, file.path(dir_refit, "malmquist.rds"))


# ============================================================================
## BLOCO 6 — MATURAÇÃO DO CAPEX (spec real vs. acumulado vs. média móvel)
# ============================================================================
dwm <- dw_real |> group_by(dmu_sigla) |> arrange(ano, .by_group = TRUE) |>
  mutate(CAPEX_acum = cumsum(CAPEX_real),
         CAPEX_ma2  = (CAPEX_real + lag(CAPEX_real)) / 2) |> ungroup()
cappos <- function(v) {
  k  <- !is.na(dwm[[v]])
  Xk <- cbind(as.matrix(dwm[k, c("OPEX_real", "EXTENSAO_REDE_KM")]), dwm[[v]][k])
  Yk <- as.matrix(dwm[k, "NUM_CONSUMIDORES"])
  th <- as.numeric(rDEA::dea(XREF = Xk, YREF = Yk, X = Xk, Y = Yk,
                             model = "input", RTS = "variable")$thetaOpt)
  r <- tibble(firm = dwm$dmu_sigla[k], th = th) |> group_by(firm) |>
    summarise(m = mean(th), .groups = "drop") |> arrange(desc(m)) |> mutate(p = row_number())
  r$p[r$firm == "SERGÁS"]
}
capex_sens <- tibble(spec = c("CAPEX_real", "CAPEX_acum", "CAPEX_ma2"),
                     sergas_pos = sapply(c("CAPEX_real", "CAPEX_acum", "CAPEX_ma2"), cappos))
cat("\n-- Maturação CAPEX: SERGÁS posição por spec --\n"); print(capex_sens)
saveRDS(capex_sens, file.path(dir_refit, "capex_maturacao.rds"))


# ============================================================================
## BLOCO 7 — LEAVE-ONE-OUT (10 cenários, deflacionado)
# ============================================================================
```

```
## Reestima o 1º estágio deflacionado removendo uma distribuidora (≠ SERGÁS)
## por vez e acompanha a posição da SERGÁS no ranking.
outros <- setdiff(unique(dw_real$dmu_sigla), "SERGÁS")
loo <- bind_rows(lapply(outros, function(f) {
  k  <- dw_real$dmu_sigla != f
  th <- as.numeric(rDEA::dea(XREF = Xr[k, , drop = FALSE], YREF = Y[k, , drop = FALSE],
                             X = Xr[k, , drop = FALSE], Y = Y[k, , drop = FALSE],
                             model = "input", RTS = "variable")$thetaOpt)
  r <- tibble(firm = dw_real$dmu_sigla[k], th = th) |> group_by(firm) |>
    summarise(m = mean(th), .groups = "drop") |> arrange(desc(m)) |> mutate(p = row_number())
  tibble(removida = f, sergas_pos = r$p[r$firm == "SERGÁS"])
}))
cat("\n-- LOO 10 cenários: SERGÁS posição",
    paste(range(loo$sergas_pos), collapse = "-"), "de 10 --\n")
saveRDS(loo, file.path(dir_refit, "loo10.rds"))


########################################################################
## BLOCO 8 — C1 (COEFFICIENT PLOT, 2 IC) + C2 (LEITURA POR EMPRESA)
########################################################################
## C1: coefficient plot do 2º estágio com DOIS IC lado a lado por variável —
##     o nativo do Simar-Wilson (exclui zero nas 3) e o bootstrap pareado por
##     cluster (cruza zero nas 3). C2: leitura por empresa via resíduo do
##     preditor contextual bias-corrected (2º passo do Algoritmo 2, já validado
##     dentro de etapa2_sw_inferencia.rds: sw$Zbeta_hat_hat / sw$beta_hat_hat).


tema_casa <- theme_pubr(base_family = "Calibri", base_size = 14) +
  theme(strip.text = element_text(size = 13, face = "bold"))
cor_destaque <- "#B0413E"; cor_base <- "#4C72B0"; cor_neutro <- "#9A9A9A"
ordem_dmu <- rank_real |> arrange(media) |> pull(firm)


## Vírgula decimal (rótulos de figura).
vir <- function(x, digits = 3) gsub("\\.", ",", formatC(x, format = "f", digits = digits))


## Notação de 3 algarismos significativos com potência de 10 sobrescrita
## (necessária p/ o Z3, cujos limites ~1e-3/1e-4 ficariam ambíguos).
.superscript <- function(n) {
  digitos <- c("0"="⁰","1"="¹","2"="²","3"="³","4"="⁴","5"="⁵","6"="⁶","7"="⁷","8"="⁸","9"="⁹")
  s <- as.character(abs(n)); chars <- strsplit(s, "")[[1]]
  paste0(ifelse(n < 0, "⁻", ""), paste(digitos[chars], collapse = ""))
}
sig3_one <- function(x) {
  if (is.na(x)) return(NA_character_)
  if (x == 0) return("0")
  x3 <- signif(x, 3); expo <- floor(log10(abs(x3)))
  if (abs(expo) >= 4) {
    mantissa <- x3 / 10^expo
    if (abs(round(mantissa, 2)) >= 10) { mantissa <- mantissa / 10; expo <- expo + 1 }
    mant_str <- gsub("\\.", ",", formatC(mantissa, format = "f", digits = 2))
    paste0(mant_str, " × 10", .superscript(expo))
  } else gsub("\\.", ",", formatC(x3, format = "g", digits = 3))
}
sig3 <- function(x) vapply(x, sig3_one, character(1))
ic_lab <- function(lo, hi) paste0("[", sig3(lo), "; ", sig3(hi), "]")


## ---- C1: coefficient plot (dois IC por variável) ----
rotulos_z <- c("Z1 — PIB per capita\n(R$ mil)",
               "Z2 — Densidade demográfica\n(hab/km²)",
               "Z3 — Volume de gás\n(milhões m³/ano)")
est   <- as.numeric(sw$beta_hat[2:4])
sw_lo <- sw$beta_ci[2:4, 1]; sw_hi <- sw$beta_ci[2:4, 2]
pc_lo <- inferencia$pairs_inf; pc_hi <- inferencia$pairs_sup
metodo_lv <- c("Bootstrap por cluster (11 empresas)",
               "Simar-Wilson nativo (55 obs. independentes)")
coef_df <- bind_rows(
  tibble(z = 1:3, metodo = metodo_lv[2], lo = sw_lo, hi = sw_hi),
  tibble(z = 1:3, metodo = metodo_lv[1], lo = pc_lo, hi = pc_hi)
) |>
  mutate(est = est[z], variavel = factor(rotulos_z[z], levels = rotulos_z),
         metodo = factor(metodo, levels = metodo_lv),
         cruza_zero = lo <= 0 & hi >= 0, rotulo_ic = ic_lab(lo, hi))
cat("\n=== C1 — IC por variável e método (cruza_zero?) ===\n")
print(coef_df |> select(variavel, metodo, lo, hi, cruza_zero))
cat("\nSW-nativo exclui zero nas 3:", all(!coef_df$cruza_zero[coef_df$metodo == metodo_lv[2]]),
    "| cluster cruza zero nas 3:", all(coef_df$cruza_zero[coef_df$metodo == metodo_lv[1]]), "\n")


fig_sw_coefplot <- ggplot(coef_df, aes(x = est, y = metodo, color = metodo)) +
  geom_vline(xintercept = 0, linetype = "dashed", color = "black", linewidth = 0.5) +
  geom_errorbarh(aes(xmin = lo, xmax = hi), height = 0.22, linewidth = 1) +
  geom_point(size = 4) +
  geom_text(aes(label = rotulo_ic), vjust = -1.1, size = 3.9, family = "Calibri", color = "black") +
  facet_wrap(~variavel, ncol = 1, scales = "free_x") +
  scale_color_manual(values = setNames(c(cor_base, cor_neutro), metodo_lv)) +
  scale_y_discrete(expand = expansion(add = c(0.6, 0.9))) +
  scale_x_continuous(expand = expansion(mult = c(0.08, 0.08))) +
  labs(x = "Coeficiente Simar-Wilson bias-corrected (associação com a ineficiência δ)",
```

```
       y = NULL, color = NULL) +
  tema_casa +
  theme(legend.position = "top", axis.text.y = element_blank(), axis.ticks.y = element_blank(),
        panel.spacing = unit(14, "pt"), plot.margin = margin(t = 8, r = 16, b = 5.5, l = 5.5))
ggsave(file.path(dir_figuras, "fig_sw_coefplot.png"), fig_sw_coefplot,
       width = 9.45, height = 6.6, dpi = 400, units = "in")


## ---- C2: leitura por empresa (δ̂bias-corrected médio + resíduo contextual) ----
predito <- as.numeric(sw$Zbeta_hat_hat)
datc <- data.frame(delta = delta, predito = predito, firm = factor(dw_real$dmu_sigla))
datc$residuo <- datc$delta - datc$predito
leitura_por_empresa <- datc |> group_by(firm) |>
  summarise(delta_medio = mean(delta), residuo_medio = mean(residuo), .groups = "drop") |>
  arrange(desc(residuo_medio)) |> mutate(ranking_residuo = row_number())
cat("\n=== C2 — leitura por empresa (δ̂médio + resíduo médio) ===\n")
print(leitura_por_empresa, n = Inf)
saveRDS(leitura_por_empresa, file.path(dir_refit, "leitura_por_empresa.rds"))


## Tabela por empresa (11 linhas) para o .qmd.
tabela_por_empresa <- leitura_por_empresa |>
  transmute(Distribuidora = firm,
            `Ineficiência bias-corrected média (δ̂)` = vir(delta_medio, 3),
            `Resíduo médio do modelo contextual` = vir(residuo_medio, 3),
            `Ranking (por resíduo)` = ranking_residuo)
saveRDS(tabela_por_empresa, file.path(dir_analitico, "tabela_por_empresa_2estagio.rds"))


########################################################################
## BLOCO 9 — TABELAS DO RELATÓRIO (refit_report_tables.rds, lido pelo .qmd)
########################################################################
## Folgas radiais (input VRS, deflacionado).
Xsl <- as.matrix(dw_real[, c("OPEX_real", "EXTENSAO_REDE_KM", "CAPEX_real")])
ee  <- Benchmarking::dea(Xsl, Y, RTS = "vrs", ORIENTATION = "in", SLACK = TRUE)
sl  <- Benchmarking::slack(Xsl, Y, ee)
tab_scores_slacks <- tibble(dmu_sigla = dw_real$dmu_sigla, ano = dw_real$ano,
  theta = round(th_r, 3), folga_OPEX = sl$sx[, 1], folga_EXT = sl$sx[, 2],
  folga_CAPEX = sl$sx[, 3], folga_CONS = sl$sy[, 1])
slacks_pct <- tibble(firm = dw_real$dmu_sigla,
  fOPEX = sl$sx[, 1] / dw_real$OPEX_real, fEXT = sl$sx[, 2] / dw_real$EXTENSAO_REDE_KM,
  fCAPEX = sl$sx[, 3] / dw_real$CAPEX_real, fCONS = sl$sy[, 1] / dw_real$NUM_CONSUMIDORES) |>
  group_by(firm) |>
  summarise(across(c(fOPEX, fEXT, fCAPEX, fCONS), ~round(100 * mean(.), 1)), .groups = "drop")


## Deflator (extraído da base materializada, para a tabela do relatório).
tab_deflator <- dw_real |> distinct(ano, deflator_p2024) |> arrange(ano) |>
  mutate(inflacao_vs_2024 = round(100 * (deflator_p2024 - 1), 2))


## Ranking radial (deflacionado + nominal + estatísticas por DMU).
tab_ranking <- rank_real |> select(dmu_sigla = firm, media_real = media, pos_real = pos) |>
  left_join(rank_nom |> select(dmu_sigla = firm, media_nom = media, pos_nom = pos), by = "dmu_sigla") |>
  left_join(tibble(dmu_sigla = dw_real$dmu_sigla, th = th_r) |> group_by(dmu_sigla) |>
              summarise(mediana = median(th), min = min(th), max = max(th), .groups = "drop"),
            by = "dmu_sigla") |>
  arrange(pos_real)


## Tabela do 2º estágio (Simar-Wilson + 4 inferências).
tab_2estagio <- inferencia |>
  transmute(termo, beta_SW = round(beta_SW, 4),
            SW_IC = sprintf("[%.3f; %.3f]", SW_inf, SW_sup),
            pairs_IC = sprintf("[%.3f; %.3f]", pairs_inf, pairs_sup),
            CR2_p = round(CR2_p, 3), WCB_p = round(WCB_p, 3))


## Malmquist agregado.
tab_malmquist   <- malm |> mutate(across(c(MPI, TC, EC), ~round(., 4)))
malmquist_geral <- tibble(MPI = round(gm(malm$MPI), 4), TC = round(gm(malm$TC), 4), EC =
round(gm(malm$EC), 4))


saveRDS(list(deflator = tab_deflator, scores_slacks = tab_scores_slacks, slacks_pct = slacks_pct,
             ranking = tab_ranking, estagio2 = tab_2estagio, malmquist = tab_malmquist,
             malmquist_geral = malmquist_geral, capex = capex_sens, loo = loo,
             sergas_pos_nom = rank_nom$pos[rank_nom$firm == "SERGÁS"],
             sergas_pos_real = rank_real$pos[rank_real$firm == "SERGÁS"]),
       file.path(dir_analitico, "refit_report_tables.rds"))


########################################################################
## BLOCO 10 — 7 FIGURAS (padrão da casa: ggpubr, Calibri, 400 dpi)
########################################################################
rot <- 4.9
ordem <- tab_ranking |> arrange(media_real) |> pull(dmu_sigla)
scores <- tibble(dmu_sigla = dw_real$dmu_sigla, ano = dw_real$ano, theta = th_r,
                 Z1 = tp$Z1_pib_per_capita, Z2 = tp$Z2_densidade_demografica,
                 Z3 = tp$Z3_volume_gas_milhoes_m3) |>
  mutate(dmu_sigla = factor(dmu_sigla, levels = ordem))
```

```
          rk_fig <- tab_ranking |> mutate(dmu_sigla = factor(dmu_sigla, levels = ordem))
          tema_fig <- theme_pubr(base_family = "Calibri", base_size = 14) +
            theme(legend.position = "none", strip.text = element_text(size = 13, face = "bold"))

          ## Fig 1 — boxplot do θ* radial deflacionado.
          fig1 <- ggplot(scores, aes(dmu_sigla, theta, fill = dmu_sigla == "SERGÁS")) +
            geom_boxplot(outlier.shape = 21, color = "black", linewidth = 0.3) +
            scale_fill_manual(values = c(`TRUE` = cor_destaque, `FALSE` = cor_base)) + coord_flip() +
            labs(x = NULL, y = expression(theta * "* (escore de eficiência radial BCC-VRS, preços constantes de
2024)")) +
            tema_fig
          ggsave(file.path(dir_figuras, "fig1_boxplot_rho_por_dmu.png"), fig1, width = 9.45, height = 6.5, dpi =
400, units = "in")

          ## Fig 2 — ranking pela média deflacionada.
          fig2 <- ggplot(rk_fig, aes(dmu_sigla, media_real, fill = dmu_sigla == "SERGÁS")) +
            geom_col(color = "black", linewidth = 0.3) +
            geom_text(aes(label = sprintf("%.3f", media_real)), hjust = -0.15, size = rot, family = "Calibri") +
            scale_fill_manual(values = c(`TRUE` = cor_destaque, `FALSE` = cor_base)) + coord_flip(clip = "off") +
            scale_y_continuous(limits = c(0, 1.08), expand = expansion(mult = c(0, 0.02))) +
            labs(x = NULL, y = expression("Média de " * theta * "* (2020-2024, preços constantes de 2024)")) +
tema_fig
          ggsave(file.path(dir_figuras, "fig2_ranking_eficiencia.png"), fig2, width = 9.45, height = 6.5, dpi = 400,
units = "in")

          ## Fig 3 — dispersão Z vs θ* + LOESS (exibição cortada em θ*=1).
          zl <- scores |> select(theta, Z1, Z2, Z3) |>
            pivot_longer(starts_with("Z"), names_to = "vz", values_to = "v") |>
            mutate(vz = recode(vz, Z1 = "Z1 — PIB per capita (R$)",
                               Z2 = "Z2 — Densidade demográfica (hab/km²)",
                               Z3 = "Z3 — Volume de gás (milhões m³/ano)"))
          fig3 <- ggplot(zl, aes(v, theta)) + geom_point(color = cor_base, alpha = 0.6, size = 1.8) +
            geom_smooth(method = "loess", se = TRUE, color = cor_destaque, linewidth = 0.6, span = 1) +
            facet_wrap(~vz, scales = "free_x", nrow = 2) +
            coord_cartesian(ylim = c(min(zl$theta), 1)) +
            labs(x = NULL, y = expression(theta * "* (escore de eficiência)")) + tema_fig
          ggsave(file.path(dir_figuras, "fig3_scatter_z_vs_rho_loess.png"), fig3, width = 9.45, height = 8, dpi =
400, units = "in")

          ## Fig 4 — LOO (posição da SERGÁS nos 10 cenários, deflacionado).
          pos_full <- tab_ranking$pos_real[tab_ranking$dmu_sigla == "SERGÁS"]; nrm <- nrow(loo)
          fig4 <- ggplot(loo, aes(sergas_pos, reorder(removida, -sergas_pos))) +
            geom_vline(xintercept = pos_full, linetype = "dashed", color = cor_destaque, linewidth = 0.6) +
            geom_point(size = 5, color = cor_base) +
            annotate("text", x = pos_full + 0.04, y = nrm + 0.9,
                     label = paste0(pos_full, "ª posição — painel completo (preços constantes)"),
                     color = cor_destaque, size = 4.6, family = "Calibri", hjust = 0, fontface = "italic") +
            scale_x_continuous(breaks = c(1, 2), limits = c(0.8, 2.2)) +
            scale_y_discrete(expand = expansion(add = c(0.7, 1.3))) +
            labs(x = "Posição da SERGÁS no ranking (LOO, preços constantes de 2024)", y = "DMU removida do painel")
+
            tema_fig + theme(plot.margin = margin(t = 20, r = 10, b = 5.5, l = 5.5))
          ggsave(file.path(dir_figuras, "fig4_loo_sensibilidade_sergas.png"), fig4, width = 9.45, height = 5.1, dpi
= 400, units = "in")

          ## Fig 5 — painel de folgas radiais (% por dimensão × empresa).
          sp <- slacks_pct |> mutate(firm = factor(firm, levels = ordem)) |>
            pivot_longer(-firm, names_to = "dim", values_to = "pct") |>
            mutate(dim = recode(dim, fOPEX = "OPEX", fEXT = "Extensão", fCAPEX = "CAPEX", fCONS = "Consumidores"),
                   dim = factor(dim, levels = c("OPEX", "Extensão", "CAPEX", "Consumidores")))
          fig5 <- ggplot(sp, aes(dim, firm, fill = pct)) + geom_tile(color = "white", linewidth = 0.5) +
            geom_text(aes(label = ifelse(pct < 0.05, "–", sprintf("%.0f%%", pct))), size = 4.2, family = "Calibri",
                      color = ifelse(sp$pct > 50, "white", "black")) +
            scale_fill_gradient(low = "#EAF0F7", high = cor_destaque, limits = c(0, 100)) +
            labs(x = "Insumo / Produto", y = NULL) + tema_fig +
            theme(legend.position = "none", axis.text.x = element_text(size = 13))
          ggsave(file.path(dir_figuras, "fig5_painel_folgas.png"), fig5, width = 9.45, height = 6.5, dpi = 400,
units = "in")

          ## Fig 6 — coefficient plot do 2º estágio (C1: dois IC por variável) — já criada acima.
          ## Fig 7 — leitura por empresa (C2): dois painéis, δ̂ médio | resíduo contextual.
          ordem_residuo <- leitura_por_empresa$firm[order(leitura_por_empresa$residuo_medio)]
          graf_dados <- leitura_por_empresa |> mutate(firm = factor(firm, levels = ordem_residuo))
          painel_delta <- ggplot(graf_dados, aes(y = firm)) +
            geom_point(aes(x = delta_medio, color = firm == "SERGÁS"), size = 4.5) +
            geom_text(aes(x = delta_medio, label = vir(delta_medio, 2)), hjust = -0.4, size = 4.0, family =
"Calibri", color = "black") +
            scale_color_manual(values = c(`TRUE` = cor_destaque, `FALSE` = cor_base)) +
            scale_x_continuous(expand = expansion(mult = c(0.05, 0.22))) +
            labs(x = "Ineficiência bias-corrected média (δ̂)", y = NULL) +
            tema_fig + theme(legend.position = "none", plot.margin = margin(t = 10, r = 10, b = 5.5, l = 5.5))
          painel_residuo <- ggplot(graf_dados, aes(y = firm)) +
            geom_vline(xintercept = 0, linetype = "dashed", color = "black", linewidth = 0.5) +
            geom_point(aes(x = residuo_medio, color = firm == "SERGÁS"), size = 4.5) +
            geom_text(aes(x = residuo_medio, label = vir(residuo_medio, 2)),
```

```
          hjust = ifelse(graf_dados$residuo_medio >= 0, -0.35, 1.35), size = 4.0, family = "Calibri", color =
"black") +
            scale_color_manual(values = c(`TRUE` = cor_destaque, `FALSE` = cor_base)) +
            scale_x_continuous(expand = expansion(mult = c(0.1, 0.18))) +
            labs(x = "Resíduo médio do modelo contextual\n(δ̂observado − previsto pelo contexto)", y = NULL) +
            tema_fig + theme(legend.position = "none", axis.text.y = element_blank(), axis.ticks.y =
element_blank(),
                             plot.margin = margin(t = 10, r = 20, b = 5.5, l = 5.5))
          fig_sw_empresa <- ggarrange(painel_delta, painel_residuo, ncol = 2, widths = c(1, 1.05)) |>
            annotate_figure(bottom = text_grob(
          "Positivo (painel direito) = mais ineficiente do que o contexto (Z1/Z2/Z3) prevê. Negativo = mais
eficiente do que o contexto prevê.",
              hjust = 0, x = 0.01, size = 11, family = "Calibri"))
          ggsave(file.path(dir_figuras, "fig_sw_por_empresa.png"), fig_sw_empresa, width = 9.45, height = 3.7, dpi =
400, units = "in")


          ############################################################################
          ## ENCERRAMENTO
          ############################################################################
          cat("\n===== REFIT CONCLUÍDO =====\n")
          cat("SERGÁS: pos nominal", rank_nom$pos[rank_nom$firm == "SERGÁS"],
              "| pos deflacionado", rank_real$pos[rank_real$firm == "SERGÁS"], "\n")
          cat("LOO: SERGÁS posição", paste(sort(unique(loo$sergas_pos)), collapse = "/"),
              "nos 10 cenários (completo:", pos_full, ")\n")
          cat("Malmquist geral TC =", malmquist_geral$TC, "| eficientes radiais:", sum(th_r >= 1 - 1e-6), "\n")
          cat("SERGÁS 2º estágio: δ̂=", round(leitura_por_empresa$delta_medio[leitura_por_empresa$firm == "SERGÁS"],
3),
          "| resíduo médio =", round(leitura_por_empresa$residuo_medio[leitura_por_empresa$firm == "SERGÁS"], 3),
              "(", leitura_por_empresa$ranking_residuo[leitura_por_empresa$firm == "SERGÁS"], "º de 11)\n")
          cat("7 figuras regeneradas em", dir_figuras, "\n")
          sink()
          cat("Pipeline refit completo. Log em", file.path(dir_refit, "log_refit.txt"), "\n")
```

APÊNDICE F – ANÁLISES DE SENSIBILIDADE

F.1 Retornos constantes e variáveis de escala

Tabela 10 – Escores médios de eficiência técnica sob retornos variáveis (BCC) e constantes (CCR) de escala e eficiência de escala (2020–2024)

Distribuidora	BCC	CCR	Eficiência de escala	Posição BCC	Posição CCR
SERGAS	0,992	0,961	0,968	1	1
ALGÁS	0,983	0,958	0,975	2	2
PBGÁS	0,982	0,755	0,768	3	4
POTIGÁS	0,841	0,807	0,960	4	3
CIGÁS	0,823	0,383	0,494	5	9
GASMIG	0,793	0,445	0,597	6	7
COPERGÁS	0,743	0,573	0,800	7	5
MSGÁS	0,690	0,267	0,386	8	10
BAHIAGÁS	0,675	0,450	0,676	9	6
CEGÁS	0,672	0,392	0,583	10	8
SCGÁS	0,303	0,146	0,488	11	11

Fonte: Elaborado pela autora (2026), com base nos dados da pesquisa.
Nota: Eficiência de escala = escore CCR ÷ escore BCC. Modelos radiais orientados a insumos.

F.2 Inclusão do volume de gás na fronteira

Tabela 11 – Escore médio de eficiência (posição) conforme a especificação do produto (2020–2024)

Distribuidora	Base: consumidores	(a) Consumidores e volume	(b) Volume	(c) Volume por consumidor
SERGAS	0,992 (1º)	1,000 (1º)	0,967 (1º)	0,962 (1º)
ALGÁS	0,983 (2º)	0,983 (2º)	0,778 (4º)	0,762 (4º)
PBGÁS	0,982 (3º)	0,982 (3º)	0,960 (2º)	0,960 (2º)
POTIGÁS	0,841 (4º)	0,841 (8º)	0,684 (6º)	0,682 (6º)
CIGÁS	0,823 (5º)	0,951 (5º)	0,923 (3º)	0,807 (3º)
GASMIG	0,793 (6º)	0,883 (7º)	0,361 (10º)	0,249 (10º)
COPERGÁS	0,743 (7º)	0,967 (4º)	0,504 (8º)	0,367 (8º)
MSGÁS	0,690 (8º)	0,703 (9º)	0,703 (5º)	0,698 (5º)
BAHIAGÁS	0,675 (9º)	0,928 (6º)	0,467 (9º)	0,196 (11º)
CEGÁS	0,672 (10º)	0,682 (10º)	0,678 (7º)	0,667 (7º)
SCGÁS	0,303 (11º)	0,347 (11º)	0,347 (11º)	0,315 (9º)

Fonte: Elaborado pela autora (2026), com base nos dados da pesquisa.
Nota: Modelo radial BCC orientado a insumos, com os mesmos três insumos (OPEX, extensão de rede e CAPEX). Em (c), o produto é o volume (mil m³) por consumidor.

F.3 Correlações e isotonicidade

Tabela 12 – Correlação de Spearman entre o escore de eficiência (BCC) e as variáveis do painel (55 observações)

Variável	ρ de Spearman
OPEX	-0,548
Extensão de rede	-0,419
CAPEX	-0,487
Consumidores	0,213
Consumidores por km de rede	0,691
OPEX por consumidor	-0,617
Rede por consumidor	-0,691
CAPEX por consumidor	-0,570
Volume de gás	-0,353

Fonte: Elaborado pela autora (2026), com base nos dados da pesquisa.
Nota: ρ calculado sobre as 55 observações distribuidora-ano; entre as médias por concessionária, a correlação com consumidores por km é de 0,873.

Tabela 13 – Matriz de correlação de Pearson entre insumos e produto (55 observações)

	OPEX	Extensão de rede	CAPEX	Consumidores
OPEX	1,000	0,750	0,770	0,610
Extensão de rede	0,750	1,000	0,757	0,636
CAPEX	0,770	0,757	1,000	0,650
Consumidores	0,610	0,636	0,650	1,000

Fonte: Elaborado pela autora (2026), com base nos dados da pesquisa.
Nota: OPEX e CAPEX em preços constantes de 2024.

Tabela 14 – Escore médio de eficiência com e sem correção de viés (2020–2024)

Distribuidora	Sem correção	Com correção	Posição sem	Posição com
SERGAS	0,992	0,869	1	2
ALGÁS	0,983	0,860	2	3
PBGÁS	0,982	0,883	3	1
POTIGÁS	0,841	0,768	4	4
CIGÁS	0,823	0,739	5	5
GASMIG	0,793	0,667	6	6
COPERGÁS	0,743	0,653	7	7
MSGÁS	0,690	0,646	8	9
BAHIAGÁS	0,675	0,627	9	10
CEGÁS	0,672	0,646	10	8
SCGÁS	0,303	0,293	11	11

Fonte: Elaborado pela autora (2026), com base nos dados da pesquisa.
Nota: Correção por *bootstrap* suavizado (100 réplicas). Escore corrigido = inverso da ineficiência corrigida.

Tabela 15 – Coeficientes da regressão truncada de Simar-Wilson com e sem o ano de 2024

Variável	β (55 obs.)	IC 95% cluster	β (44 obs.)	IC 95% cluster
PIB per capita (R$ mil)	0,0817	[-0,0235; 0,1044]	0,0854	[-0,0357; 0,1088]
Densidade (hab/km²)	0,0182	[-0,0154; 0,0236]	0,0165	[-0,0192; 0,0209]
Volume de gás (Mm³/ano)	0,0011	[-0,0004; 0,0020]	0,0009	[-0,0005; 0,0015]

Fonte: Elaborado pela autora (2026), com base nos dados da pesquisa.
Nota: Algoritmo 2 de Simar e Wilson (2007), com 100 réplicas para a correção de viés e 2.000 para os intervalos; IC 95% cluster = *bootstrap* de agrupamentos por empresa (11 empresas).

APÊNDICE G – DECLARAÇÃO DE USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Em atenção aos princípios de transparência e integridade acadêmica, declara-se que, na elaboração desta dissertação, foi utilizada a ferramenta de inteligência artificial Claude (Anthropic) como recurso de apoio, de natureza auxiliar e sempre sob supervisão e revisão crítica da autora, nas frentes descritas a seguir.

No apoio à análise de dados, a ferramenta auxiliou na estruturação e depuração de rotinas computacionais (código) empregadas na aplicação da Análise Envoltória de Dados e nos procedimentos estatísticos de segunda etapa, bem como na verificação da consistência dos resultados. A concepção do modelo, a seleção das variáveis e das unidades de análise, a coleta e o tratamento dos dados, a execução das estimativas e a interpretação dos resultados foram realizadas pela autora, a quem cabe integral responsabilidade pelos achados.

No apoio à redação, a ferramenta auxiliou na revisão da coerência e da clareza do texto, sem alterar o conteúdo, os argumentos ou as conclusões, que permanecem de autoria integral da autora. A ferramenta também prestou apoio à formatação e à montagem de tabelas e quadros, cabendo à autora a definição de seu conteúdo, a seleção dos dados neles apresentados e a conferência final.

A autoria intelectual, as decisões metodológicas e as interpretações apresentadas são de responsabilidade exclusiva da autora.