

SERVIÇOS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA SOB A LENTE DA EFICIÊNCIA: UMA APLICAÇÃO DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA) COM OUTPUTS INDESEJÁVEIS E COMPARTILHADOS

1 INTRODUÇÃO

A busca por maior eficiência operacional tem impulsionado organizações, públicas e privadas, a adotarem práticas de gestão orientadas por dados. No setor de serviços, onde o capital humano é o principal ativo, a mensuração de desempenho individual torna-se um desafio complexo e crucial. Este estudo aborda a avaliação de eficiência de eletricitistas de uma empresa de iluminação pública, utilizando a Análise Envoltória de Dados (DEA), uma técnica não paramétrica consolidada para medir a eficiência relativa de Unidades Tomadoras de Decisão (Decision Making Units - DMUs).

A contribuição deste estudo reside na aplicação da DEA a este contexto específico, incorporando fatores como outputs compartilhados (tarefas realizadas em equipe, de difícil alocação individual) e outputs indesejáveis (serviços ineficazes, como retrabalho ou visitas improdutivas) na avaliação. Gestores e supervisores de uma empresa prestadora de serviços de iluminação pública buscam implementar um sistema para avaliação da eficiência de seus eletricitistas, considerando as particularidades da atividade. O objetivo deste trabalho é avaliar a eficiência destes funcionários, comparar diferentes modelagens que abarcam tais particularidades e, ao fim, sugerir a abordagem mais relevante para a criação de um índice de eficiência do eletricitista.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A gestão de desempenho é o processo contínuo de identificar, medir e desenvolver o desempenho de indivíduos e equipes, alinhando-o aos objetivos estratégicos da organização (ARMSTRONG, 2006). Em empresas prestadoras de serviço, a avaliação transcende simples métricas de produtividade, devendo considerar qualidade, eficácia e complexidade das tarefas. A Análise Envoltória de Dados (DEA), proposta por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), é uma técnica de programação matemática para avaliar a eficiência relativa de um conjunto de DMUs homogêneas. Os modelos constroem uma fronteira de eficiência baseada nas melhores práticas, onde DMUs eficientes recebem escore 1 (100%). Os modelos seminais são o CCR (Charnes, Cooper & Rhodes, 1978), que assume retornos constantes de escala (CRS), e o BCC (Banker, Charnes & Cooper, 1984), que assume retornos variáveis de escala (VRS).

A aplicação da DEA a problemas reais frequentemente exige adaptações. Outputs Indesejáveis, como um atendimento ineficaz, são resultados que se deseja minimizar. A literatura aborda essa questão tratando-os como inputs (SEIFORD; ZHU, 2002) ou por meio de modelos que consideram a suposição de dispensabilidade fraca, onde a redução do output indesejável implica na redução proporcional da atividade e dos outputs desejáveis (FÄRE; GROSSKOPF, 2004; KUOSMANEN, 2005). Outro desafio são os Outputs Compartilhados, como projetos de modernização realizados por várias equipes. A alocação arbitrária do crédito pode distorcer a eficiência. O modelo ZSG-DEA (Zero Sum Gains DEA), proposto por Lins et al. (2003), aborda essa questão ao modelar produtos de soma constante, onde o ganho de uma DMU implica em uma redistribuição da produção das demais.

3 METODOLOGIA

Foram avaliados 49 eletricitistas de uma empresa, alocados em quatro municípios (contratos). Os dados foram coletados entre outubro e dezembro de 2023, totalizando 42.987

serviços. A atividade foi definida por um insumo (dias trabalhados) e três produtos (manutenções, modernizações e atendimentos ineficazes). A Tabela 1 resume os dados. Para a análise, foram testados seis modelos DEA com orientação ao produto e retornos constantes de escala (CRS), pois se supõe que qualquer aumento nos insumos deve gerar um incremento linear na produção. O Modelo 1 é o modelo tradicional (controle). O Modelo 2 introduz os atendimentos ineficazes como insumos (dispensabilidade livre). O Modelo 3 trata os ineficazes sob a suposição de dispensabilidade fraca (KUOSMANEN, 2005). Os Modelos 4, 5 e 6 são análogos aos três primeiros, mas incorporam a interdependência dos atendimentos de modernização via ZSG-DEA. As diferenças entre os índices de eficiência gerados pelos modelos foram avaliadas pelo teste de Wilcoxon.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A análise revelou que a relevância de cada modelo varia conforme as características operacionais de cada contrato. Uma tendência geral observada é que, ao se considerar os outputs indesejáveis, o número de funcionários classificados como eficientes tende a aumentar, com os modelos de dispensabilidade fraca sendo os menos rigorosos.

Tabela 1. Resumo da atividade no período

Contrato	Equipes em campo	Manutenções	Modernizações	Ineficácias
Cidade A	12	8684	2	104
Cidade B	18	10085	2632	370
Cidade C	23	7445	3521	249
Cidade D	12	7239	2645	11
Média	16.25	8363.25	2200	183.5

Fonte: Dados originais da pesquisa

Nota: O total de equipes em campo é diferente do total real de equipes devido a equipes que atuam em múltiplos contratos

Para a Cidade A, que teve um volume ínfimo de modernizações, a modelagem ZSG-DEA não se mostrou relevante. Contudo, considerar os outputs indesejáveis (Modelos 2 e 3) gerou índices estatisticamente diferentes do modelo tradicional, dobrando o número de funcionários eficientes (Tabelas 2, 3, 4 e 5).

Tabela 2 - Resumo dos índices em Cidade A

Estatística	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6
Funcionários	12	12	12	12	12	12
Média	1.34660	1.21155	1.21155	1.34008	1.20725	1.20725
Desvio padrão	0.37283	0.27410	0.27410	0.37712	0.27635	0.27635
Mínimo	1	1	1	1	1	1
25%	1.13443	1	1	1.07579	1	1
50%	1.28642	1.13308	1.13308	1.28642	1.10729	1.10729

75%	1.40269	1.30657	1.30657	1.40269	1.30657	1.30657
Máximo	2.36709	1.93091	1.93091	2.36709	1.93091	1.93091
Func. Eficientes	2	4	4	2	4	4

Fonte: Dados originais da pesquisa

Nos contratos das Cidades B e C, com alto volume de modernizações, a modelagem ZSG-DEA mostrou-se relevante, produzindo índices estatisticamente diferentes dos modelos que não consideram a interdependência. Nesses cenários, a inclusão de outputs indesejáveis também foi significativa, com o número de DMUs eficientes aumentando de 2 para 9 na Cidade B, e de 4 para 8 na Cidade C ao se comparar o modelo mais simples (1) com o mais completo (6).

Tabela 3 - Resumo dos índices em Cidade B

Estatística	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6
Funcionários	18	18	18	18	18	18
Média	1.52486	1.19124	1.15268	1.51028	1.18710	1.14926
Desvio padrão	0.57647	0.33005	0.31840	0.56910	0.32975	0.31811
Mínimo	1	1	1	1	1	1
25%	1.13850	1	1	1.11092	1	1
50%	1.32563	1.07265	1.02891	1.32140	1.06945	1.02866
75%	1.56611	1.16605	1.15513	1.56038	1.16163	1.14257
Máximo	2.83469	2.32558	2.32558	2.83190	2.32356	2.32356
Func. Eficientes	2	7	9	2	7	9

Fonte: Dados originais da pesquisa

Tabela 4 - Resumo dos índices em Cidade C

Estatística	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6
Funcionários	23	23	23	23	23	23
Média	1.23531	1.18408	1.17234	1.22193	1.17253	1.16159
Desvio padrão	0.21015	0.20863	0.21115	0.19250	0.19026	0.19273
Mínimo	1	1	1	1	1	1
25%	1.10393	1	1	1.10034	1	1
50%	1.20612	1.13137	1.10526	1.19459	1.12405	1.10470
75%	1.33907	1.26187	1.25288	1.32921	1.25095	1.24564
Máximo	1.86245	1.82406	1.82406	1.74463	1.71149	1.71149
Func. Eficientes	4	7	8	4	7	8

Fonte: Dados originais da pesquisa

Já a Cidade D, com um número significativo de modernizações, mas baixíssimo volume de ineficácias, beneficiou-se principalmente da modelagem de soma constante (ZSG-DEA), enquanto a modelagem de outputs indesejáveis não gerou diferenças estatísticas relevantes em relação ao modelo base.

Tabela 5 - Resumo dos índices em Cidade D

Estatística	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6
Funcionários	12	12	12	12	12	12
Média	1.10942	1.10581	1.08515	1.09790	1.09438	1.07372
Desvio padrão	0.11913	0.11727	0.11167	0.10993	0.10774	0.09905
Mínimo	1	1	1	1	1	1
25%	1.00472	1	1	1.00462	1	1
50%	1.06779	1.06779	1.01597	1.05972	1.05972	1.01540
75%	1.20446	1.18681	1.16867	1.18870	1.17810	1.12146
Máximo	1.33343	1.33343	1.33343	1.29788	1.29788	1.29788
Func. Eficientes	3	4	5	3	4	5

Fonte: Dados originais da pesquisa

Em todos os contratos, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os modelos que tratam os outputs indesejáveis como insumos (dispensabilidade livre) e os que usam a abordagem de dispensabilidade fraca. Dado que a primeira abordagem é de mais fácil intuição e implementação, ela se mostra mais atrativa do ponto de vista gerencial.

Tabela 6 - Teste de igualdade de índices para Cidade A

Modelo	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6
Modelo 1	1	-	-	-	-	-
Modelo 2	***0.00325	1	-	-	-	-
Modelo 3	***0.00325	1	1	-	-	-
Modelo 4	0.60558	***0.00678	***0.00678	1	-	-
Modelo 5	***0.00325	0.60558	0.60558	***0.00325	1	-
Modelo 6	***0.00325	0.60558	0.60558	***0.00325	1	1

Fonte: Dados originais da pesquisa

Tabela 7 - Teste de igualdade de índices para Cidade B

Modelo	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6
Modelo 1	1	-	-	-	-	-

Modelo 2	***0.00104	1	-	-	-	-
Modelo 3	***0.00025	0.12812	1	-	-	-
Modelo 4	***0.00025	***0.00464	***0.00058	1	-	-
Modelo 5	***0.00025	***0.00172	0.34588	***0.00104	1	-
Modelo 6	***0.00025	***0.00172	***0.00538	***0.00025	0.12812	1

Fonte: Dados originais da pesquisa

Tabela 8 - Teste de igualdade de índices para Cidade C

Modelo	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6
Modelo 1	1	-	-	-	-	-
Modelo 2	***0.00010	1	-	-	-	-
Modelo 3	***0.00007	0.69489	1	-	-	-
Modelo 4	***0.00007	*0.08834	**0.03574	1	-	-
Modelo 5	***0.00005	***0.00015	***0.00206	***0.00010	1	-
Modelo 6	***0.00005	***0.00015	***0.00024	***0.00007	0.69489	1

Fonte: Dados originais da pesquisa

Tabela 9 - Teste de igualdade de índices para Cidade D

Modelo	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6
Modelo 1	1	-	-	-	-	-
Modelo 2	0.33430	1	-	-	-	-
Modelo 3	0.17428	0.60558	1	-	-	-
Modelo 4	***0.00742	0.18065	0.47950	1	-	-
Modelo 5	***0.00742	**0.01276	*0.08318	0.33430	1	-
Modelo 6	***0.00468	***0.00742	**0.01276	0.17428	0.60558	1

Fonte: Dados originais da pesquisa

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo se propôs a desenvolver e validar um método de avaliação de eficiência para eletricitistas de campo, um desafio complexo devido a particularidades operacionais como a partilha de tarefas e a ocorrência de serviços ineficazes. Por meio da Análise Envoltória de Dados (DEA), demonstrou-se que é possível construir um índice de performance objetivo e quantitativo, superando as limitações de avaliações puramente subjetivas. A principal conclusão é que não existe um modelo universalmente superior; a escolha da abordagem mais acurada está intrinsecamente ligada ao contexto operacional de cada contrato. Em cenários com alto volume de projetos colaborativos (modernizações), a incorporação do modelo ZSG-DEA mostrou-se crucial para uma justa atribuição de mérito. De forma complementar, a consideração de outputs indesejáveis (ineficácias) enriqueceu a análise em todos os contextos, sendo a

abordagem de tratá-los como insumos (dispensabilidade livre) a mais pragmática do ponto de vista gerencial, por sua simplicidade e por não apresentar diferenças estatísticas significativas em relação a modelos mais complexos.

As contribuições deste trabalho desdobram-se em duas frentes. Para a academia, a pesquisa oferece uma aplicação empírica detalhada que compara, simultaneamente, modelos para outputs compartilhados e indesejáveis em um setor de serviços pouco explorado na literatura, fornecendo evidências sobre a adequação de cada abordagem. Gerencialmente, a principal entrega é um framework validado que permite à gestão transitar para uma tomada de decisão baseada em dados. Este índice não só possibilita a identificação de profissionais que necessitam de treinamento específico, mas também destaca as melhores práticas dos colaboradores mais eficientes, fomentando um processo de benchmarking interno. Adicionalmente, estabelece uma base mais transparente e defensável para sistemas de reconhecimento e remuneração variável, alinhando o desempenho individual aos objetivos estratégicos da organização.

Reconhece-se, contudo, algumas limitações. O estudo representa uma análise transversal, ou seja, um retrato de um período específico, não capturando a evolução da eficiência ao longo do tempo. A complexidade do modelo ZSG-DEA utilizado restringe, em sua formulação atual, a análise a um único tipo de output compartilhado. Como sugestão para pesquisas futuras, recomenda-se a aplicação de modelos de DEA com dados em painel, o que permitiria uma análise longitudinal do desempenho e do impacto de programas de capacitação. Seria de grande valia, também, explorar modelos que incorporem variáveis qualitativas, como a satisfação do cliente, e que possam lidar com múltiplos outputs compartilhados simultaneamente. Por fim, a validação deste framework em outras empresas de serviços com operações de campo similares consolidaria a generalização dos resultados aqui encontrados.

REFERÊNCIAS

- ARMSTRONG, M. A Handbook of Human Resource Management Practice. Kogan Page Publishers, 2006.
- 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.
- BI, G. et al. The linear formulation of the ZSG-DEA models with different production technologies. *Journal of the Operational Research Society*, v. 65, n. 8, p. 1202–11, 2014.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision-making units. *European Journal of Operational Research*, v. 2, p. 429–444, 1978.
- FÄRE, R.; GROSSKOPF, S. Modeling undesirable factors in production: a review. *European Journal of Operational Research*, v. 157, n. 1, p. 4–20, 2004.
- KUOSMANEN, T. Weak Disposability in Nonparametric Production Analysis with Undesirable Outputs. *American Journal of Agricultural Economics*, v. 87, n. 4, p. 1077–1082, 2005.
- LINS, M. P. E. et al. Olympic ranking based on a zero sum gains DEA model. *European Journal of Operational Research*, v. 148, p. 312–322, 2003.
- SEIFORD, L. M.; ZHU, J. Modeling undesirable factors in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, v. 142, n. 1, p. 16–20, 2002.