

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

ANDRÉ DA LUZ

ESALQ/ USP- ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ

RICARDO FRANCELI DA SILVA

FEA/USP - FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E CONTABILIDADE DA USP

Introdução

Práticas de gestão orientadas por dados têm despertado interesse de organizações públicas e privadas. Nesse contexto o setor de serviços toma um desafio complexo e crucial para o seu negócio: mensurar a eficiência individual do capital humano nas operações. A Análise Envoltória de Dados (DEA), sendo capaz de avaliar a eficiência de unidades decisórias (DMUs) relativa aos seus pares, representa uma aliada dos gestores nesse empenho. Esse estudo discorrerá sobre a aplicação de distintos modelos da DEA em contextos que incorporam tanto produção compartilhada quanto produção de outputs indesejados.

Problema de Pesquisa e Objetivo

Este trabalho debruçou-se em avaliar a adequação e distinção de modelos DEA na produção de um índice de eficiência de operadores, levando em conta determinadas particularidades da atividade. Buscando produzir, ao fim do estudo, evidência para a adequação do método na mensuração de eficiência de pessoal, literatura sobre o uso da DEA e distinções entre modelos nesse contexto e um índice que se adequa às necessidades da empresa específica.

Fundamentação Teórica

Em empresas de serviços a avaliação do desempenho deve transcender a mera contagem, considerando qualidade, eficácia e complexidade. A DEA, técnica de programação linear, avalia a eficiência relativa de operadores homogêneos por meio de uma fronteira de eficiência baseada nas melhores práticas, onde eficientes mostram score 1. As principais distinções entre modelos se dão em orientação (se a insumos ou produção) e a escala de produção (se constante ou variável). Há ainda modelos específicos para produção compartilhada (ZSG-DEA) e modelos para indesejáveis (dispensabilidade livre e fraca).

Metodologia

A atividade, definidas por insumo (dias trabalhados) e produtos (manutenções, modernizações e atendimentos ineficazes), de 49 eletricitistas alocados em 4 municípios foi coletada de outubro a dezembro de 2023, somando 42.987 serviços executados. Consideraram-se 6 modelos distintos, orientados a produção e com retornos constantes: o Modelo 1 para controle, o 2 e 3 para dispensabilidade livre e fraca de ineficazes; Já o 4, 5 e 6 aplicaram aos anteriores o conceito de produção compartilhada (modernizações) via ZSG-DEA. Então aferimos a diferença entre cada modelo (índices) com o teste de Wilcoxon.

Análise e Discussão dos Resultados

Observando os resultados vemos que determinados contratos indiciam variações entre modelos baseados em sua demanda. Em geral nenhuma cidade indicia diferenças significativas entre os modelos de dispensabilidade de ineficacias (modelos 2 e 3 e modelos 5 e 6). A Cidade A, pelo seu número ínfimo de modernizações, não indica variação para o modelo ZSG-DEA; já a Cidade D, pelo seu número ínfimo de ineficacias, não indica variação para dispensabilidade de indesejáveis. A dispensabilidade fraca de indesejáveis tende a ser mais leniente que a dispensabilidade livre, mais que o modelo tradicional.

Considerações Finais

Via DEA construiu-se um índice de eficiência objetivo e quantitativo. Destaca-se: não existe um método universal para mensuração da eficiência. Academicamente: esta pesquisa oferece uma aplicação empírica detalhada comparando modelos distintos em cenário pouco documentado, evidenciando adequação de cada abordagem. Gerencialmente: um framework validado que permite identificação de oportunidades de treinamento e louva as melhores práticas de produção. No entanto limitou-se a análise transversal no tempo e não incorporou-se variáveis qualitativas, pontos de expansão em estudos futuros.

Referências

BANKER; CHARNES; COOPER Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. BI et al The linear formulation of the ZSG-DEA models with different production technologies. CHARNES; COOPER; RHODES Measuring the efficiency of decision-making units. FÁRE; GROSSKOPF Modeling undesirable factors in production: a review. KUOSMANEN Weak Disposability in Nonparametric Production Analysis with Undesirable Outputs. LINS et al Olympic ranking based on a zero sum gains DEA model. SEIFORD; ZHU Modeling undesirable factors in data envelopment analysis.

Palavras Chave

DEA, Avaliação de modelos, Eficiência de operadores

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.