57º SBPO
SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL
Gramado • RS
DE 5 A 9 DE OUTUBRO DE 2025

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE ESCOLAS PÚBLICAS NO PROGRAMA EDUCACIONAL "MENINAS NO ESPAÇO"

Mariana Rodrigues de Almeida
Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN
Campus Universitário, Lagoa Nova, Natal/RN
almeidamariana@yahoo.com

Rafaela de Moura Cassiano Silva
Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN
Campus Universitário - Lagoa Nova, Natal - RN, 59078-970
rafaelademcsilva@gmail.com

Janaine de Sousa Pontes
Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN
Campus Universitário - Lagoa Nova, Natal - RN, 59078-970
janaine.pontes.092@ufrn.edu.br

Adriana Cavalcante Marques
Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Campus Universitário - Lagoa Nova, Natal - RN, 59078-970
adrianac.m@hotmail.com

Nivanio Jerônimo Bezerra da Silva
Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN
Campus Universitário, Lagoa Nova, Natal/RN
nivaniojb@gmail.com

RESUMO

Este artigo tem como objetivo avaliar a eficiência relativa das escolas públicas inseridas no programa educacional "Meninas no Espaço", que integra atividades científicas com ênfase nos protocolos do Programa GLOBE. Para conduzir a análise, foi aplicado o modelo DEA-BCC, orientado ao *input*, considerando múltiplas variáveis associadas ao desempenho das unidades escolares nas ações do projeto. Os resultados permitiram identificar as escolas mais eficientes em termos de aproveitamento dos recursos didático-científicos disponibilizados, destacando o papel da gestão escolar no alcance de metas pedagógicas e de engajamento estudantil. A análise revelou ainda potenciais de melhoria nas unidades ineficientes, sugerindo caminhos estratégicos para fortalecer as próximas edições do programa. O estudo reforça a relevância do uso de modelos matemáticos para apoiar políticas públicas educacionais voltadas à ciência e inclusão.

PALAVRAS CHAVE: **Educação Científica, Eficiência Escolar, DEA-BCC, GLOBE Program, Meninas no Espaço**

Tópicos: SE (DEA)

ABSTRACT

This article aims to evaluate the relative efficiency of public schools participating in the "Girls in Space" educational program, which integrates scientific activities with an emphasis on the

GLOBE Program protocols. The analysis was conducted using the DEA-BCC model, which is input-oriented, considering multiple variables associated with the performance of school units in the project's actions. The results allowed us to identify the most efficient schools in terms of using the available educational and scientific resources, highlighting the role of school management in achieving pedagogical goals and student engagement. The analysis also revealed potential for improvement in inefficient units, suggesting strategic paths to strengthen future editions of the program. The study reinforces the relevance of using mathematical models to support public educational policies focused on science and inclusion.

.

KEYWORDS. Science Education, School Efficiency, DEA-BCC, GLOBE Program, Girls in Space

Paper topics (Data envelopment Analysis)

1. Introdução

A educação básica enfrenta, em todo o mundo, desafios crescentes relacionados à qualidade do ensino, à equidade de acesso e à efetiva inserção de metodologias que preparem os estudantes para os desafios do século XXI. No Brasil, tais desafios se acentuam em virtude das desigualdades regionais e da necessidade urgente de conectar os conteúdos escolares com os avanços científicos e tecnológicos.

Projetos educacionais voltados à promoção de ciências e tecnologias, como o "Meninas no Espaço", têm se mostrado estratégias eficazes para despertar o interesse dos estudantes por áreas STEM (Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática). Tais programas promovem, além da aprendizagem, a inclusão social e a equidade de gênero na ciência, fortalecendo competências e habilidades essenciais para o futuro profissional dos alunos.

Dentro desse contexto, a utilização de modelos matemáticos para avaliação de desempenho institucional ganha relevância. A Análise Envoltória de Dados (DEA), especialmente em sua formulação BCC, é uma metodologia consagrada para medir a eficiência relativa de unidades tomadoras de decisão (DMUs), como escolas, hospitais ou empresas. Sua aplicação permite identificar quais unidades estão utilizando melhor seus recursos e quais apresentam oportunidades de melhoria.

A utilização de indicadores quantitativos, articulados com políticas públicas e programas educacionais inovadores, possibilita uma gestão mais assertiva e baseada em evidências. O programa GLOBE, promovido pela NASA e parceiros globais, é um exemplo de iniciativa com potencial para fortalecer a formação científica na educação básica, através da coleta e análise de dados ambientais, contribuindo para a cidadania científica e a formação crítica dos estudantes.

Diante desse cenário, este artigo propõe responder à seguinte questão: *quais são as escolas mais eficientes no desenvolvimento das atividades do programa Meninas no Espaço, considerando os princípios do modelo DEA-BCC*? A partir dessa pergunta, o objetivo principal é aplicar a técnica de Análise Envoltória de Dados para mensurar a eficiência relativa das escolas participantes e propor recomendações de melhoria baseadas nos resultados.

2. Referencial teórico

Esta seção apresenta o referencial teórico sobre o Programa GLOBE, focado na coleta de dados ambientais por estudantes, e a Análise Envoltória de Dados (DEA), utilizada para avaliar a eficiência em diversos contextos.

2.1 O Programa GLOBE

O Programa GLOBE (*Global Learning and Observations to Benefit the Environment*) é uma iniciativa internacional criada pela NASA em 1994, com o objetivo de promover a educação científica e a conscientização ambiental global. O programa envolve estudantes e educadores na coleta de dados ambientais, permitindo que os participantes apliquem o método científico em estudos do meio ambiente. O GLOBE é realizado em mais de 120 países, com a participação de milhões de alunos e educadores. O objetivo central do programa é engajar jovens cientistas em atividades práticas, incentivando a coleta de dados ambientais reais que contribuem para pesquisas globais [GLOBE Program, 2025].

O programa é estruturado em uma série de protocolos científicos que permitem a coleta de dados em cinco esferas principais: atmosfera, hidrosfera, pedosfera, biosfera e Terra como sistema. Cada esfera oferece protocolos específicos que abordam diferentes aspectos ambientais, como a medição de qualidade do ar, da água, as condições do solo e a biodiversidade. Esses protocolos são fundamentais para que os alunos desenvolvam uma compreensão profunda dos processos ambientais e se envolvam em atividades de pesquisa científica. O uso desses protocolos promove uma abordagem integrada e multidisciplinar para o estudo do meio ambiente, permitindo que os participantes façam contribuições científicas valiosas [GLOBE Program, 2014].

Uma das características mais importantes do GLOBE é o seu congresso anual, onde alunos e educadores de diferentes países compartilham suas descobertas e projetos de pesquisa. Durante o congresso, os participantes têm a oportunidade de apresentar seus artigos científicos e discutir seus projetos com especialistas na área. O evento facilita o intercâmbio de ideias e permite que os estudantes se conectem com uma rede global de cientistas e educadores. Além disso, o congresso é uma plataforma importante para divulgar dados científicos que contribuem para a compreensão das mudanças climáticas e outras questões ambientais globais [GLOBE Program, 2024].

O *GLOBE Program* também oferece um guia curricular de mudança climática, que orienta os educadores na implementação de atividades relacionadas às mudanças climáticas dentro do currículo escolar. Esse guia é uma ferramenta fundamental para os professores, pois oferece recursos pedagógicos e atividades práticas que ajudam os alunos a entenderem os conceitos de mudanças climáticas de forma interativa e envolvente [GLOBE Program, 2024]. A integração de temas como o aquecimento global, o impacto das atividades humanas no clima e as soluções para mitigar os efeitos das mudanças climáticas são abordadas por meio de atividades baseadas nos protocolos do GLOBE.

2.2. Análise Envoltória de Dados

A Análise Envoltória de Dados (DEA, do inglês Data Envelopment Analysis) é uma metodologia não paramétrica proposta por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), inicialmente com o modelo CCR, que considera retornos constantes de escala (CRS). Esta técnica utiliza programação linear para avaliar a eficiência relativa de unidades tomadoras de decisão (Decision Making Units – DMUs), que consomem múltiplos insumos (*inputs*) para produzir múltiplos produtos (*outputs*).

A partir do modelo CCR, evoluíram outras formulações relevantes, como o modelo BCC [Banker, Charnes e Cooper, 1984], que introduz a possibilidade de retornos variáveis de escala (VRS), permitindo analisar DMUs que operam em escalas não ideais. Enquanto o CCR mede eficiência técnica pura e de escala, o BCC isola a eficiência técnica, separando-a da influência da escala de operação.

Com o avanço das aplicações, diversos modelos alternativos foram propostos, como: Modelos Aditivos [Charnes et al., 1985], Modelos Baseados em Folgas (SBM) [Tone, 2001], Modelos de Fronteira Invertida [Yamada, 1994], DEA Dinâmico (DDEA) [Färe e Grosskopf, 1996; Tone e Tsutsui, 2010], e Modelos em Rede (NDEA) para sistemas com múltiplas etapas ou processos interdependentes [Kao & Hwang, 2008].

Os modelos DEA passaram a incorporar fatores temporais, estruturais e organizacionais complexos, atendendo a diferentes cenários reais, como nos setores de saúde, transporte, educação e indústria.

Essa evolução metodológica responde a limitações da DEA clássica, que trata os sistemas como "caixas-pretas". Com modelos como o NDEA e o DDEA, é possível decompor a eficiência por estágios (redes) e períodos (dinâmica), oferecendo informações mais precisas para gestores e formuladores de políticas públicas, conforme apresentado por Kao [2013] e Tone [2014].

A escolha do modelo DEA-BCC neste estudo justifica-se por sua adequação a contextos educacionais, onde os retornos de escala são variáveis e nem todas as escolas operam em condições ideais. Assim, é possível identificar *benchmarks* e fornecer diretrizes específicas para que unidades menos eficientes possam melhorar.

3. Método de pesquisa

Esta seção apresenta o delineamento metodológico adotado para mensurar a eficiência relativa das escolas públicas inseridas no programa educacional Meninas no Espaço, utilizando-se da técnica de Análise Envoltória de Dados (DEA), sob o modelo BCC [Banker, Charnes e Cooper, 1984] com orientação ao *input*.

3.1 Delineamento da Pesquisa

A pesquisa é de natureza quantitativa, descritiva e exploratória. O objetivo é identificar quais unidades escolares, consideradas como Unidades Tomadoras de Decisão (DMUs), apresentam melhor desempenho relativo na utilização dos recursos disponíveis para alcançar os objetivos do projeto educacional vinculado ao setor espacial e ao Programa GLOBE.

O presente estudo utilizou como método a técnica de Análise Envoltória de Dados (DEA), especificamente o modelo BCC com orientação ao input, para avaliar a eficiência relativa das escolas públicas participantes do programa educacional *Meninas no Espaço*, desenvolvido em parceria com o Programa GLOBE. A escolha deste modelo se justifica pela heterogeneidade das escolas em termos de estrutura, escala e acesso a recursos, uma vez que o modelo BCC permite considerar retornos variáveis de escala, sendo mais adequado para contextos onde as unidades analisadas não operam sob condições homogêneas.

3.2 Unidades de Análise

Para a aplicação da técnica, foram consideradas as escolas como unidades tomadoras de decisão (DMUs), e selecionadas variáveis que representassem os principais insumos utilizados e os resultados alcançados no âmbito do projeto. Como *inputs*, foram incluídos: o nível de formação do professor orientador, o número de alunas bolsistas, o número de voluntárias, a distância da escola em relação à universidade coordenadora, a presença de biblioteca, o número de laboratórios de ciências e o número de laboratórios de informática. Esses fatores representam os recursos acadêmicos, humanos e estruturais empregados para viabilizar a participação no projeto.

Como *outputs*, foram definidos quatro indicadores que refletem os resultados da implementação do programa: a quantidade de atividades do GLOBE realizadas, o número de pessoas impactadas pelas ações da escola, a produção de artigos científicos submetidos ao congresso internacional do GLOBE e a quantidade de observações ambientais registradas no sistema da NASA. Os dados foram extraídos de formulários de monitoramento e da base de registros oficiais do projeto. A modelagem foi implementada com apoio de planilha automatizada em Excel com macros em VBA, que permitiu a análise individual de cada escola, gerando escores de eficiência variando entre 0 e 1.

O escore de eficiência obtido para cada escola indica sua capacidade de converter os recursos disponíveis em resultados concretos no projeto. Escolas com escore igual a 1 foram consideradas eficientes e formaram a fronteira de eficiência, servindo como referência (*benchmark*) para as demais. As escolas com escore inferior a 1 foram consideradas ineficientes, sendo possível identificar, por meio das folgas, quais recursos poderiam ser otimizados para que alcançassem desempenho equivalente ao das eficientes.

3.3 Variáveis do Modelo DEA-BCC

O modelo DEA-BCC orientado ao *input* foi escolhido por se adequar a contextos onde se deseja avaliar como diferentes unidades podem reduzir seus insumos mantendo o mesmo nível de desempenho (*output*). Essa abordagem permite que escolas que operam em escalas menores não sejam penalizadas injustamente. A Tabela 1 resume os *inputs* e *outputs* considerados:

Tabela 1: Descrição dos *inputs* e *outputs* analisados

Tipo	Variável	Descrição
Input	Nº de professoras envolvidas	Total de docentes participantes no projeto
Input	Nº de atividades científicas propostas	Quantidade de oficinas, experimentos ou ações executadas
Input	Nº de horas destinadas ao projeto	Tempo alocado em horas para execução das atividades

Output	Nº de alunas participantes	Quantidade de estudantes diretamente envolvidas
Output	Nº de protocolos do GLOBE aplicados	Total de protocolos ambientais executados (biosfera, atmosfera etc.)
Output	Nº de produtos ou relatórios entregues	Entregas documentadas, como relatórios, vídeos ou apresentações finais

Fonte: Autores (2025)

Essas variáveis foram extraídas dos formulários de acompanhamento do projeto e das planilhas de registro disponíveis na base de dados do programa.

3.4 Aplicação do Modelo DEA-BC

A modelagem foi conduzida com uso de software especializado e ferramentas de automação em VBA desenvolvidas para este fim, conforme as orientações do manual de uso do modelo BCC. O modelo resolve, para cada escola, um problema de programação linear, em que os pesos atribuídos aos *inputs* e *outputs* são otimizados para maximizar o escore de eficiência sob a condição de retornos variáveis de escala (VRS). A formulação matemática utilizada é do modelo BCC primal orientado para *input*:

$$Max = \sum_{i=1}^{m} u_i y_{i0} + w$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^{m} u_i y_{ik} + w - \sum_{j=1}^{n} v_j x_{jk} \leq 0 \; para \; k = 1, 2, \ldots z$$

$$\sum_{j=1}^{n} v_j x_{j0} = 1$$

$$u_i \text{ e } v_j > 0$$

A formulação matemática utilizada é do modelo BCC dual orientado para *input*:

$$Min \; \theta$$

Sujeito a:

$$\sum_{k=1}^{z} y_{ik} \lambda_k \geq y_{i0}, \; para \; i = 1, 2, \ldots, m$$

$$\sum_{k=1}^{z} x_{jk} \lambda_k - \theta x_{j0} \leq 0, \; para \; j = 1, 2, \ldots, n$$

$$\sum_{k=1}^{z} \lambda_k = 1$$

$$\lambda_k \; e \; \theta \geq 0, \; k = 1, \ldots, j$$

Onde:

- θ é o escore de eficiência técnica pura;
- λ lambda são os pesos associados às escolas comparadas;
- sj− e + são folgas nos *inputs* e o*utputs,* respectivamente;
- x_{jk} e y_{ik} representam os insumos e produtos da DMU avaliada.

Os dados foram organizados em planilha Excel com suporte de macros em VBA para facilitar a entrada automatizada e o processamento dos resultados. O modelo foi testado com

análise de sensibilidade para verificar a robustez das soluções encontradas. Todas as DMUs foram avaliadas individualmente, e os escores foram classificados em:

- Eficiência Total (escore = 1)
- Ineficientes (escore < 1)

As escolas com escore igual a 1 compõem a fronteira eficiente e servem de *benchmark* para as demais.

4. Estudo de caso

A seção descreve o projeto Meninas no Espaço, destacando sua integração com o programa GLOBE e a utilização da Análise Envoltória de Dados para avaliar a eficiência das escolas participantes. A análise envolveu a avaliação de diversos *inputs* e *outputs*, resultando na identificação de escolas eficientes e ineficientes. As escolas eficientes servem como benchmarks, orientando melhorias nas unidades com desempenho abaixo do esperado.

4.1 Contextualização

O projeto Meninas no Espaço é uma iniciativa educacional de grande relevância, voltada para a divulgação da ciência de forma inclusiva e acessível. Desde sua implementação, o projeto já alcançou mais de 11 mil alunos em diferentes regiões do Rio Grande do Norte, proporcionando um ensino inovador e integrando alunos de diversos contextos sociais e geográficos. A edição de 2024 do projeto trouxe uma importante inovação, ao integrar de forma profunda o programa GLOBE (Global Learning and Observations to Benefit the Environment), um programa internacional que oferece aos alunos a oportunidade de aprender ciências ambientais por meio da coleta de dados reais, alinhados aos protocolos científicos da NASA.

Ao longo do projeto, as escolas participantes receberam treinamento assíncrono, abordando temas científicos diversos, e, em seguida, foram disponibilizadas 50 atividades, distribuídas nas 5 esferas do GLOBE: hidrosfera, atmosfera, pedosfera, biosfera e Terra como um sistema. Cada escola escolheu 20 dessas atividades, de acordo com seu interesse, identificação com o tema e disponibilidade de recursos para implementação. Esse processo de seleção permitiu que as escolas adaptassem o conteúdo à realidade local e ao perfil de seus alunos.

Além disso, as escolas participantes foram desafiadas a desenvolver artigos científicos utilizando os protocolos do GLOBE, com o objetivo de submetê-los ao congresso anual do programa. A participação no congresso representou um passo importante na formalização do conhecimento gerado, e possibilitou que as escolas compartilhassem suas experiências e resultados com uma rede global de educadores e cientistas. As observações realizadas pelos alunos, com a coleta de dados ambientais, foram integradas ao sistema do GLOBE, contribuindo diretamente para as pesquisas da NASA e ampliando a relevância do projeto no contexto científico global.

Para avaliar a eficiência das escolas na implementação do projeto, utilizamos a Análise Envoltória de Dados (DEA). A DEA é uma metodologia matemática que permite medir a eficiência relativa de unidades que utilizam múltiplos insumos para gerar múltiplos resultados. A aplicação do DEA no contexto deste estudo proporciona uma compreensão aprofundada de como as escolas estão utilizando seus recursos para atingir os objetivos do projeto, identificando as melhores práticas que podem ser replicadas em outras instituições de ensino

4.2 *Inputs* e *Outputs*

A aplicação do modelo DEA no contexto do projeto Meninas no Espaço envolve a análise de diversos *inputs* e outputs que refletem tanto os recursos utilizados pelas escolas quanto os resultados alcançados. Esses *inputs* e *outputs* são essenciais para compreender a eficiência de cada escola na implementação das atividades do projeto.

O primeiro *input* considerado é a formação do professor orientador. A formação acadêmica dos professores orientadores, incluindo graduação, mestrado ou doutorado, é um fator crucial para a qualidade da orientação oferecida às alunas e para a execução das atividades do projeto. A formação mais avançada pode contribuir para o aprofundamento do conhecimento, melhor abordagem pedagógica e maior capacidade de envolver os alunos nas atividades práticas.

Outro *input* relevante é o número de bolsistas em cada escola. As alunas bolsistas são essenciais para a execução do projeto, pois elas recebem apoio financeiro, o que possibilita sua participação contínua e comprometida. Além disso, o número de voluntárias também é considerado. As alunas voluntárias, embora não recebam suporte financeiro, desempenham um papel importante no apoio às atividades, contribuindo para o sucesso do projeto de forma significativa.

A distância da universidade também é um *input* relevante. As escolas localizadas em áreas mais afastadas da universidade enfrentam desafios adicionais, como a dificuldade de acesso a eventos presenciais, como workshops e simpósios. Além disso, a distância muitas vezes está associada à limitação no acesso à infraestrutura digital, como aulas online, o que pode dificultar a participação plena das alunas. Esse fator tem um impacto direto na capacidade de engajamento e na eficiência da implementação do projeto.

A infraestrutura das escolas também desempenha um papel importante nos resultados do projeto. A presença de uma biblioteca nas escolas é fundamental, pois oferece um espaço dedicado para estudo e pesquisa, além de apoiar a criação de um ambiente propício ao desenvolvimento acadêmico. O número de laboratórios de ciências nas escolas também é um *input* essencial, já que esses laboratórios possibilitam a realização de experimentos e a aplicação dos protocolos do GLOBE, proporcionando uma experiência prática fundamental para o aprendizado dos alunos.

Além disso, o número de laboratórios de informática nas escolas é outro *input* importante. Esses laboratórios são necessários para a realização de pesquisas online, a participação em aulas digitais e a produção dos artigos científicos exigidos pelo projeto. A infraestrutura de informática também facilita a implementação de atividades baseadas em tecnologia e comunicação, o que é fundamental para a execução do projeto em sua totalidade.

Os *outputs* do modelo DEA refletem os resultados gerados pelas escolas no decorrer da execução do projeto. O primeiro *output* considerado é a quantidade de atividades desenvolvidas. Esse número reflete a capacidade da escola em implementar as atividades propostas no projeto, com base nos protocolos do GLOBE. A quantidade de atividades realizadas indica o nível de engajamento das escolas e sua capacidade de aplicar as metodologias de forma eficaz.

Outro *output* importante é a quantidade de pessoas alcançadas. Esse indicador mede o impacto do projeto nas comunidades locais, considerando o número de pessoas que foram diretamente beneficiadas pelas atividades realizadas nas escolas. Esse *output* é fundamental para avaliar a expansão do projeto e seu alcance social.

A quantidade de artigos publicados é outro *output* relevante. Os artigos desenvolvidos pelas escolas e submetidos ao congresso do GLOBE refletem o nível de produção acadêmica e científica gerada ao longo do projeto. A produção de artigos é uma medida importante da capacidade das escolas em transformar a experiência do projeto em conhecimento formal, contribuindo para o avanço da pesquisa científica na área de ciências ambientais.

Por fim, as observações do GLOBE realizadas pelos alunos constituem um *output* importante. As observações são parte do processo de coleta de dados ambientais, que são registradas no sistema do GLOBE e contribuem para a base de dados da NASA. Esse *output* demonstra a participação ativa das escolas no processo científico global e evidencia o impacto das ações realizadas localmente no desenvolvimento da pesquisa ambiental.

4.3 Resultados

A aplicação do modelo DEA-BCC permitiu identificar diferenças significativas na eficiência relativa das escolas participantes do programa Meninas no Espaço. Os escores de eficiência variaram entre [X] e 1, revelando que apenas uma parte das escolas analisadas atingiu a fronteira de eficiência, sendo consideradas *benchmark* dentro do modelo. Essas escolas demonstraram maior capacidade de transformar insumos – como tempo, estrutura física, apoio de professores e número de participantes – em resultados concretos, como produção científica, participação em eventos e geração de dados ambientais válidos para o GLOBE.

A análise dos outputs evidenciou que as escolas mais eficientes não necessariamente eram aquelas com maior número de laboratórios ou com maior proximidade da universidade coordenadora, mas sim aquelas que melhor utilizaram os recursos disponíveis para maximizar os resultados propostos. Algumas unidades, mesmo com estrutura física limitada, conseguiram desenvolver mais atividades, alcançar um maior número de pessoas e gerar observações ambientais com qualidade e frequência, o que indica um uso estratégico e comprometido dos recursos humanos e didáticos, conforme a Tabela 2.

Tabela 2: Eficiência e *benchmark* das DMUS

DMU	Descrição	Eficiência	DMUS Benchmarks
1	IFRN - Campus Apodi	100%	19
2	IFRN - Campus Parnamirim	100%	24
3	E. E. E. M. T. I. Dom Nivaldo Monte	100%	EFICIENTE
4	CEEP - Profª Lourdinha Guerra	100%	EFICIENTE
5	E. E. Profª. Calpurnia Caldas De Amorim	68%	4, 14, 19, 24 e 26
6	CEEP - João Faustino Ferreira Neto	100%	24
7	E. E. Doutor Antônio De Souza	100%	24
8	E. E. Profª. Maria Das Graças Silva Germano	100%	EFICIENTE
9	E. E. Profª. Maria De Lourdes Bezerra	100%	22 e 24
10	E. E. Prof. Paulo Freire	72%	8, 9, 22 e 24
11	E. E. Maurício Freire	67%	8, 9 e 24
12	E. E. Berilo Wanderley	87%	4, 19 e 24
13	E. E. Dr. José Fernandes De Melo	46%	4, 14, 19 e 24
14	E. E. Senador José Bernardo	100%	EFICIENTE
15	E. E. Prof. Antônio Basílio Filho	67%	24
16	E. M. Profª. Terezinha Da Silva Leite	93%	4, 7, 19, 24 e 26
17	IERN - Unidade Natal	85%	4 e 24
18	E. E. Newman Queiroz	91%	1, 7, 8, 14, 19, 24 e 26
19	E. E. Tabelião Júlio Maria	100%	EFICIENTE
20	E. E. Godofredo Cacho	75%	7, 19 e 26
21	E. M. Iapissara Aguiar	100%	4, 14 e 22
22	E. M. Ivanira De Vasconcelos Paisinho	100%	EFICIENTE

23	IFRN - Campus Natal Zona Norte	67%	24
24	E. E. Vigário Bartolomeu	100%	EFICIENTE
25	IFRN - Campus Canguaretama	40%	8 e 24
26	E. E. João Alencar De Medeiros	100%	EFICIENTE
27	E. E. Pedro II	100%	EFICIENTE

Fonte: Autores (2025)

A análise de eficiência realizada por meio do modelo DEA-BCC permitiu avaliar o desempenho de 27 escolas públicas participantes do programa educacional Meninas no Espaço, com base na relação entre os recursos empregados (*inputs*) e os resultados obtidos (*outputs*) no âmbito do projeto. Os *outputs* consideraram o volume de atividades desenvolvidas pelas alunas, a produção científica submetida (como artigos e relatórios), e o alcance social obtido por meio das ações de extensão voltadas às comunidades locais. A eficiência de cada escola foi avaliada com base no quanto sua equipe pedagógica e discente conseguiram transformar os recursos disponíveis em impacto real na sociedade e no meio acadêmico.

Dos 27 estabelecimentos analisados, 15 escolas (55,6%) foram consideradas eficientes, apresentando escores de eficiência iguais a 100%. Essas escolas formam a fronteira eficiente e podem ser utilizadas como benchmarks para as demais. Entre as unidades destacadas como eficientes estão instituições de diferentes naturezas administrativas, como o IFRN (Apodi, Parnamirim, Natal Zona Norte), escolas estaduais urbanas e instituições técnicas de educação profissional, o que demonstra que a eficiência não esteve necessariamente vinculada ao tipo de escola, mas sim ao seu engajamento e organização no desenvolvimento do projeto.

As 12 escolas restantes (44,4%) foram classificadas como ineficientes, com escores variando de 40% a 93%. As unidades com menores escores foram a E. E. Dr. José Fernandes de Melo (46%) e o IFRN – Campus Canguaretama (40%), indicando que esses locais possuem maior potencial de melhoria na forma como alocam seus recursos e organizam suas equipes para alcançar os objetivos do projeto. A taxa de eficiência dessas escolas foi calculada com base na comparação entre os recursos que empregaram (como número de bolsistas, infraestrutura disponível e envolvimento docente) e os resultados alcançados nos três pilares principais: produção científica, extensão e alcance comunitário.

A partir da análise das folgas do modelo e da matriz de benchmarks, foi possível identificar quais escolas eficientes serviram de referência para cada unidade ineficiente. Por exemplo, a E. E. Prof. Paulo Freire (72% de eficiência) teve como benchmarks as escolas 8, 9, 22 e 24, todas com desempenho máximo. Esse tipo de diagnóstico permite sugerir metas operacionais mais realistas para as escolas ineficientes, como ampliar o número de atividades científicas executadas, diversificar os protocolos GLOBE utilizados, aumentar a articulação com a comunidade e estimular maior participação discente na produção de relatórios e artigos científicos.

Esse processo de *benchmarking* é essencial para a construção de planos de ação personalizados, adaptados à realidade de cada escola, com base nas práticas bem-sucedidas adotadas pelas unidades eficientes. Dessa forma, o modelo DEA-BCC não apenas permite mensurar o desempenho relativo, mas também orienta intervenções estratégicas para o aprimoramento contínuo do programa em edições futuras, fortalecendo o papel da escola pública como agente transformador por meio da ciência, da extensão e da inclusão

As escolas ineficientes, por outro lado, apresentaram escores abaixo de 1 e, em sua maioria, exibiram baixo aproveitamento das atividades, pouca integração com os protocolos científicos e baixa produção acadêmica. A análise das folgas identificadas apontou que, em muitos casos, seria possível alcançar melhores resultados com uma reorganização dos recursos

existentes, como um uso mais eficaz do tempo do professor orientador, maior mobilização das alunas voluntárias e um aproveitamento mais efetivo dos ambientes laboratoriais.

Esses resultados oferecem subsídios importantes para o aprimoramento do programa em edições futuras. O diagnóstico permite propor planos de ação focados na capacitação de professores, incentivo à produção científica escolar e fortalecimento da infraestrutura digital e experimental, especialmente em escolas de regiões mais afastadas. A avaliação realizada por meio do modelo DEA mostra-se, assim, uma ferramenta estratégica para gestores públicos e educadores, ao possibilitar o monitoramento da eficiência, a identificação de boas práticas e a promoção de políticas educacionais baseadas em evidências.

6. Conclusão

Este estudo teve como objetivo avaliar a eficiência relativa das escolas públicas participantes do programa educacional Meninas no Espaço, por meio da aplicação do modelo DEA-BCC com orientação a insumos. A análise revelou que parte expressiva das escolas alcançou escores máximos de eficiência, utilizando de forma estratégica os recursos humanos, estruturais e pedagógicos disponíveis para atingir os objetivos do projeto. Essa constatação reforça que não é o volume de recursos que define a performance, mas sim a qualidade da gestão local e o engajamento das equipes escolares.

O modelo DEA mostrou-se uma ferramenta adequada e eficaz para diagnosticar o uso eficiente do capital público, permitindo identificar boas práticas, promover o benchmarking entre instituições e orientar intervenções de melhoria contínua. Ao fundamentar-se nos conceitos desenvolvidos por Almeida [2010], este trabalho estende a aplicação da DEA como metodologia robusta para avaliação de projetos educacionais financiados com recursos públicos, incluindo a possibilidade de gerar rankings comparativos entre escolas e, potencialmente, entre diferentes projetos submetidos a editais de fomento como os da FAPESP.

A principal contribuição deste estudo é a demonstração de que a DEA pode apoiar a formulação e gestão de políticas públicas educacionais mais eficientes, com base em indicadores objetivos, favorecendo a equidade e a racionalização da aplicação de recursos. A aplicação do modelo BCC neste contexto fornece um ponto de partida sólido para estruturar mecanismos de avaliação contínua e sistemática.

No entanto, trata-se de uma análise inicial, com foco específico na eficiência técnica sob retornos variáveis de escala. Este trabalho pode e deve ser ampliado com a aplicação de modelos mais avançados, como o Network DEA (NDEA) e o Dynamic DEA (DDEA). O modelo NDEA permitirá desagregar os processos internos das escolas, possibilitando uma análise entre os estágios da produção educacional — por exemplo, desde a formação dos professores até os resultados científicos e sociais alcançados. Já o DDEA permitirá uma abordagem longitudinal, acompanhando a evolução da eficiência das escolas ano a ano, o que é especialmente relevante em programas de médio e longo prazo como o Meninas no Espaço.

Com esses desdobramentos metodológicos, será possível construir indicadores intertemporais de desempenho, acompanhar os efeitos das ações de capacitação e disseminar práticas exitosas com base em evidências concretas. Recomenda-se, portanto, a continuidade desta agenda de pesquisa com a integração de modelos dinâmicos e em rede, ampliando o escopo analítico e fortalecendo a capacidade de avaliação estratégica do programa, em prol da qualidade e da sustentabilidade da educação científica no Brasil.

7. Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), em especial ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PEP), pelo suporte institucional, acadêmico e técnico prestado ao longo da realização desta pesquisa. Reconhece-se, ainda, o apoio da Agência Espacial Brasileira (AEB), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) e a Secretaria de

Estado da Educação, do Esporte e do Lazer do Rio Grande do Norte (SEEC) para o fortalecimento da formação científica e para o desenvolvimento do trabalho.

Referências

Avkiran, N. K. (2001). Investigating technical and scale efficiencies of Australian universities through Data Envelopment Analysis. *Socio-Economic Planning Sciences, 35*(1), 57–80. https://doi.org/10.1016/S0038-0121(00)00010-0

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

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

Charnes, A., Cooper, W. W., Lewin, A. Y., & Seiford, L. M. (1995). *Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology and Applications*. Kluwer Academic Publishers.

Cook, W. D., & Seiford, L. M. (2009). Data Envelopment Analysis (DEA) – Thirty years on. *European Journal of Operational Research, 192*(1), 1–17. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.01.032

Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Tone, K. (2006). *Introduction to Data Envelopment Analysis and Its Uses: With DEA-Solver Software and References*. Springer.

GLOBE Program. (2025). About GLOBE: History. https://www.globe.gov/about/learn/history. Acessado: 2025-05-07.

GLOBE Program. (2014). Teacher's Guide Introduction. https://www.globe.gov/documents/10157/380993/tg_intro.pdf. Acessado: 2025-05-07.

GLOBE Program. (2024). Climate Change Curriculum Guide. Retrieved from https://www.globe.gov/documents/10157/99127849/GLOBE+CC+Guide+Final_Complete+Guide.pdf/5dc1f187-3bf2-27be-cf66-8f72b0764885?t=1692169357062. Acessado: 2025-05-07.

Kao, C. (2013). Dynamic Data Envelopment Analysis: A relational model. *European Journal of Operational Research, 225*(3), 639–652. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.10.035

Tone, K. (2001). A slacks-based measure of efficiency in Data Envelopment Analysis. *European Journal of Operational Research, 130*(3), 498–509. https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00407-5

Yamada, T. (1994). Measuring efficiency of decision making units with undesirable outputs. *Japanese Journal of Management Science, 3*(1), 75–87.