

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA**



**Gabriel Lobo de Carvalho e Teixeira**

**ANÁLISE SOBRE INVESTIMENTOS EM  
INFRAESTRUTURA NO AMBIENTE ESCOLAR  
E SUAS OPORTUNIDADES DE MELHORIA DE  
EFICIÊNCIA**

Trabalho de Graduação  
2020

**Curso de Engenharia  
Civil-Aeronáutica**

**Gabriel Lobo de Carvalho e Teixeira**

**ANÁLISE SOBRE INVESTIMENTOS EM  
INFRAESTRUTURA NO AMBIENTE ESCOLAR  
E SUAS OPORTUNIDADES DE MELHORIA DE  
EFICIÊNCIA**

Orientadora

Prof. Giovanna Miceli Ronzani Borille (ITA)

**ENGENHARIA CIVIL-AERONÁUTICA**

**SÃO JOSÉ DOS CAMPOS  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA**

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**  
**Divisão de Informação e Documentação**

Teixeira, Gabriel Lobo de Carvalho e  
Análise sobre investimentos em infraestrutura no ambiente escolar e suas oportunidades de melhoria de eficiência / Gabriel Lobo de Carvalho e Teixeira.  
São José dos Campos, 2020.  
73f.

Trabalho de Graduação – Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica– Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2020. Orientadora: Prof. Giovanna Miceli Ronzani Borille.

1. . 2. . 3. . I. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. II. Título.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

TEIXEIRA, Gabriel Lobo de Carvalho e. **Análise sobre investimentos em infraestrutura no ambiente escolar e suas oportunidades de melhoria de eficiência.** 2020. 73f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Gabriel Lobo de Carvalho e Teixeira

TÍTULO DO TRABALHO: Análise sobre investimentos em infraestrutura no ambiente escolar e suas oportunidades de melhoria de eficiência.

TIPO DO TRABALHO/ANO: Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) / 2020

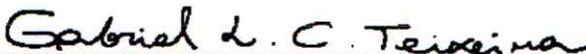
É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias deste trabalho de graduação e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste trabalho de graduação pode ser reproduzida sem a autorização do autor.

*Gabriel L. C. Teixeira*

Gabriel Lobo de Carvalho e Teixeira  
Rua Manoel Borba Gato, 900  
12.242-270 – São José dos Campos–SP

# ANÁLISE SOBRE INVESTIMENTOS EM INFRAESTRUTURA NO AMBIENTE ESCOLAR E SUAS OPORTUNIDADES DE MELHORIA DE EFICIÊNCIA

Essa publicação foi aceita como Relatório Final de Trabalho de Graduação



---

Gabriel Lobo de Carvalho e Teixeira

Autor



---

Giovanna Miceli Ronzani Borille (ITA)

Orientadora



---

Prof. João Cláudio Bassan de Moraes  
Coordenador do Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica

São José dos Campos, 18 de novembro de 2020.

Dedico este trabalho à você, mãe, que cresceu na fazenda, lutou muito, se graduou e é minha referência; à você, pai, que não teve a oportunidade de se graduar e sempre foi minha maior força e motivação para realização de tal; à você, vovó, por ser minha segunda mãe desde sempre e à você, meu falecido, mas sempre presente, avô. Vocês apoiaram um sonho que se realiza após sete anos de dedicação.

# Agradecimentos

O primeiro agradecimento vai à minha família. Pai, mãe, vovó, sem vocês esse sonho nunca seria nem mesmo uma opção.

Agradeço também à professora Giovanna por encarar a loucura de me orientar nesse trabalho. Não foi uma tarefa fácil, mas você acreditou que seria possível e não deixou que eu desistisse no meio do caminho.

Agradeço à representante da minha turma da Engenharia Civil-Aeronáutica, Gabriela Vilar, pois sem ela não estaria aqui nem mesmo escrevendo esses agradecimentos no ano de 2020. Obrigado, Gabi, pelo que você fez por mim, pelo seu grupo e por essa turma!

A segunda parte desses agradecimentos vai para todos esses com quem tive o prazer de morar, conviver, fazer escolhas ruins e que no final deram certo. Vocês que estiveram dentro o apartamento 232 e agregados têm um carinho especial e foram fundamentais para a sanidade mental até chegar nesse ponto. Sempre juntos!

*“The greatest gift you can give someone is the power to be successful.  
Giving people the opportunity to struggle rather than giving them the things they are  
struggling for will make them stronger.”*

— RAY DALIO

# Resumo

O número de matrículas na educação básica no Brasil vem crescendo expressivamente na última década. A expansão desenfreada nesse segmento da educação pode fazer com que certos fatores, dentre eles o de infraestrutura, sejam negligenciados no processo, assim como aconteceu no segmento da educação superior. Esse estudo visa mostrar como as instituições de ensino fundamental podem ser eficientes nos investimentos em infraestrutura escolar de forma a continuar o crescimento em alunos, bem como manter a qualidade nas avaliações nacionais. Para tanto, utiliza-se o método da Análise Envoltória de Dados (DEA) em busca de instituições que sejam referência nesses investimentos de forma a balizar as decisões de instituições ineficientes. A aplicação do modelo culminou em pontos-chave de investimento em infraestrutura para oito instituições municipais de ensino fundamental de São José dos Campos tidas como ineficientes.

**Palavras-chave:** Educação, Ensino Fundamental, Infraestrutura Escolar, DEA, Análise Envoltória de Dados

# Abstract

The number of enrollments in basic education in Brazil has grown significantly in the last decade. The unrestrained expansion in this segment of education can cause certain factors, including infrastructure, to be neglected in the process, just as it happened in the higher education segment. This study aims to show how elementary education institutions can be efficient in investing in school infrastructure in order to continue growing in number of students, as well as maintaining quality in national assessments. Therefore, the Data Envelopment Analysis (DEA) method is used in search of institutions that are a reference in these investments in order to guide the decisions of inefficient institutions. The application of the model culminated in key points of investment in infrastructure for eight municipal institutions of fundamental education in São José dos Campos considered inefficient.

**Key words:** Education, Elementary Education, School Infrastructure, DEA, Data Envelopment Analysis

# Lista de Figuras

FIGURA 1.1 – Evolução do número de matrículas no Ensino Básico privado no Brasil. Fonte: autoria própria, 2020. . . . .	17
FIGURA 1.2 – Grupos Educacionais e respectivo número de alunos. Fonte: (TUNEDUC, 2016) . . . . .	18
FIGURA 2.1 – Definição e distribuição de ambientes do Ensino Fundamental Anos Iniciais. Fonte: (EDUCAÇÃO, 2018) . . . . .	27
FIGURA 2.2 – Definição e distribuição de ambientes do Ensino Fundamental Anos Finais. Fonte: (EDUCAÇÃO, 2018) . . . . .	28
FIGURA 2.3 – Dimensões, indicadores e variáveis da infraestrutura escolar. Fonte: (NOLETO <i>et al.</i> , 2019) . . . . .	32
FIGURA 2.4 – Dimensões, indicadores e variáveis da infraestrutura escolar. Fonte: (NOLETO <i>et al.</i> , 2019) . . . . .	33
FIGURA 2.5 – Matriz de correlação entre os indicadores para obtenção de um indicador geral de infraestrutura. Fonte: (NOLETO <i>et al.</i> , 2019) . . . . .	34
FIGURA 3.1 – Curva de um processo de produção. Fonte: (MELLO <i>et al.</i> , 2005) . . . . .	37
FIGURA 3.2 – Resumo das classificações do modelo DEA. Fonte: adaptação de (CHARNES <i>et al.</i> , 1997). . . . .	44

# Lista de Tabelas

TABELA 4.1 – <i>Inputs</i> escolhidos para o DEA . . . . .	48
TABELA 4.2 – Indicador, variáveis e respectivas categorias com escores. Fonte: adaptada de (NOLETO <i>et al.</i> , 2019) . . . . .	49
TABELA 4.3 – <i>Outputs</i> escolhidos para o DEA . . . . .	50
TABELA 4.4 – Variáveis de entrada do DEA - parte 1 . . . . .	51
TABELA 4.5 – Variáveis de entrada - parte 2 - e variáveis de saída do DEA . . . . .	52
TABELA 4.6 – Eficiências obtidas pelo algoritmo DEA e as respectivas DMUs benchmark para a escola municipal $DMU_5$ . . . . .	53
TABELA 4.7 – Eficiências obtidas pelo algoritmo DEA e as respectivas DMUs benchmark para a escola municipal $DMU_8$ . . . . .	54
TABELA 4.8 – Eficiências obtidas pelo algoritmo DEA e as respectivas DMUs benchmark para a escola municipal $DMU_9$ . . . . .	54
TABELA 4.9 – Eficiências obtidas pelo algoritmo DEA e as respectivas DMUs benchmark para a escola municipal $DMU_{15}$ . . . . .	55
TABELA 4.10 – Eficiências obtidas pelo algoritmo DEA e as respectivas DMUs benchmark para a escola municipal $DMU_{18}$ . . . . .	55
TABELA 4.11 – Eficiências obtidas pelo algoritmo DEA e as respectivas DMUs benchmark para a escola municipal $DMU_{19}$ . . . . .	56
TABELA 4.12 – Eficiências obtidas pelo algoritmo DEA e as respectivas DMUs benchmark para a escola municipal $DMU_{20}$ . . . . .	56
TABELA 4.13 – Eficiências obtidas pelo algoritmo DEA e as respectivas DMUs benchmark para a escola municipal $DMU_{38}$ . . . . .	57
TABELA A.1 – Descritivo do indicador "acesso à serviços", suas variáveis e respectivos escores. Fonte: adaptada de (NOLETO <i>et al.</i> , 2019) . . . . .	64

---

TABELA A.2 –Descritivo do indicador "instalações do prédio", suas variáveis e respectivos escores. Fonte: adaptada de (NOLETO <i>et al.</i> , 2019) . . . . .	65
TABELA A.3 –Descritivo do indicador "prevenção de danos", suas variáveis e respectivos escores. Fonte: adaptada de (NOLETO <i>et al.</i> , 2019) . . . . .	66
TABELA A.4 –Descritivo do indicador "conservação", suas variáveis e respectivos escores. Fonte: adaptada de (NOLETO <i>et al.</i> , 2019) . . . . .	67
TABELA A.5 –Descritivo do indicador "conforto", suas variáveis e respectivos escores. Fonte: adaptada de (NOLETO <i>et al.</i> , 2019) . . . . .	67
TABELA A.6 –Descritivo do indicador "ambiente prazeroso", suas variáveis e respectivos escores. Fonte: adaptada de (NOLETO <i>et al.</i> , 2019) . . . . .	68
TABELA A.7 –Descritivo do indicador "espaços pedagógicos", suas variáveis e respectivos escores. Fonte: adaptada de (NOLETO <i>et al.</i> , 2019) . . . . .	68
TABELA A.8 –Descritivo do indicador "Equipamentos para apoio administrativo", suas variáveis e respectivos escores. Fonte: adaptada de (NOLETO <i>et al.</i> , 2019) . . . . .	69
TABELA A.9 –Descritivo do indicador "Equipamentos para apoio pedagógico", suas variáveis e respectivos escores. Fonte: adaptada de (NOLETO <i>et al.</i> , 2019) . . . . .	70
TABELA A.10 –Descritivo do indicador "Acessibilidade", suas variáveis e respectivos escores. Fonte: adaptada de (NOLETO <i>et al.</i> , 2019) . . . . .	70
TABELA A.1 –Tabela de variáveis de infraestrutura presente no Censo Escolar da Educação Básica. Fonte: Inep 2017. . . . .	72
TABELA B.1 –Variáveis relativas à infraestrutura presente no Saeb de 2017. Fonte: Inep 2017. . . . .	74

# Lista de Abreviaturas e Siglas

BCC	Banker, Charnes, Cooper
CAQi	Custo Aluno-Qualidade Inicial
CCR	Charnes, Cooper, Rhodes
CF	Constituição Federal
DEA	<i>Data Envelopment Analysis</i>
DMU	<i>Decision Making Unit</i>
ENADE	Exame Nacional de Desempenho de Estudantes
Fundeb	Fundo de Manutenção e Desenvolvimento da Educação Básica e de Valorização dos Profissionais da Educação
Fundef	Fundo de Manutenção e Desenvolvimento do Ensino Fundamental e de Valorização do Magistério
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Inep	Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira
LDB	Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional
MEC	Ministério da Educação
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
Pisa	Programa Internacional de Avaliação de Alunos
Pnad	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios
PNE	Plano Nacional de Educação
Saeb	Sistema Nacional de Avaliação da Educação Básica
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

# Sumário

1	INTRODUÇÃO . . . . .	15
1.1	Contextualização . . . . .	15
1.2	Relevância do tema . . . . .	16
1.3	Definição do problema . . . . .	19
1.4	Objetivo do trabalho . . . . .	20
1.5	Estrutura do trabalho . . . . .	20
2	CONCEITOS FUNDAMENTAIS . . . . .	22
2.1	Definição de qualidade de educação no Brasil . . . . .	23
2.2	O histórico de tentativa regulatória da infraestrutura escolar e sua definição . . . . .	24
2.3	As variáveis de mensuração da infraestrutura escolar . . . . .	28
2.4	As tentativas de <i>clusterização</i> e um modelo conceitual para tratamento dos itens mensuráveis de infraestrutura . . . . .	30
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DO MÉTODO . . . . .	35
3.1	Análise Envoltória de Dados - DEA (Data Envelopment Analysis)	35
3.1.1	Os conceitos de eficácia, produtividade e eficiência . . . . .	35
3.1.2	A história da Análise Envoltória de Dados . . . . .	37
3.1.3	Características do modelo DEA . . . . .	44
3.1.4	Limitações do modelo DEA . . . . .	45
3.2	Trabalhos científicos anteriores utilizando o DEA . . . . .	45
3.2.1	DEA no contexto da logística refrigerada . . . . .	45
3.2.2	DEA no contexto educacional do ensino superior . . . . .	46

---

3.2.3	DEA no contexto do transporte aéreo . . . . .	46
4	APLICAÇÃO, RESULTADOS E DISCUSSÃO . . . . .	47
4.1	Caracterização das Unidades Tomadoras de Decisão . . . . .	47
4.2	Caracterização dos insumos e produtos das DMUs . . . . .	48
4.2.1	Os <i>inputs</i> . . . . .	48
4.2.2	Os <i>outputs</i> . . . . .	49
4.3	Caracterização do modelo DEA escolhido . . . . .	50
4.4	Caracterização das escolas municipais - DMUs . . . . .	51
4.5	Aplicação do modelo DEA BCC orientado à <i>outputs</i> . . . . .	52
4.5.1	Escola Municipal - $DMU_5$ . . . . .	53
4.5.2	Escola Municipal - $DMU_8$ . . . . .	53
4.5.3	Escola Municipal - $DMU_9$ . . . . .	54
4.5.4	Escola Municipal - $DMU_{15}$ . . . . .	54
4.5.5	Escola Municipal - $DMU_{18}$ . . . . .	55
4.5.6	Escola Municipal - $DMU_{19}$ . . . . .	55
4.5.7	Escola Municipal - $DMU_{20}$ . . . . .	56
4.5.8	Escola Municipal - $DMU_{38}$ . . . . .	56
4.6	Considerações finais . . . . .	57
5	CONCLUSÕES . . . . .	58
5.1	Próximos passos . . . . .	59
	REFERÊNCIAS . . . . .	60
	APÊNDICE A – METODOLOGIA PARA OBTENÇÃO DOS <i>Inputs</i> DO DEA . . . . .	64
	ANEXO A – BASE DE ESCOLAS DO CENSO ESCOLAR DA EDU- CAÇÃO BÁSICA . . . . .	71
	ANEXO B – VARIÁVEIS DE INFRAESTRUTURA PRESENTES NOS QUESTIONÁRIOS DO SAEB . . . . .	73

# 1 Introdução

## 1.1 Contextualização

A educação está contemplada como um dos objetivos-chave do desenvolvimento não só dos países enquanto nações soberanas, mas também nas discussões que tangibilizam o desenvolvimento da espécie humana como um todo, haja vista a discussão do Fórum Mundial de Educação, em Incheon (Coreia do Sul) no ano de 2015. Essa discussão reuniu líderes de mais de cem países conjuntamente com órgãos mundiais e culminou na aprovação da Agenda 2030, documento de compromisso com objetivos e metas para o Desenvolvimento Sustentável (UNESCO, 2015).

O Objetivo 4 da Agenda 2030 se refere, especificamente, à educação, estabelecendo o objetivo de "assegurar a educação inclusiva e equitativa e de qualidade, e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos". Dentro das metas associadas a este objetivo, tem-se a meta tratada no tópico 4.a. da Agenda supracitada, em que os países que assinaram o acordo se comprometem a "construir e melhorar instalações físicas para a educação, apropriadas para crianças e sensíveis às deficiências e ao gênero, e que proporcionem ambientes de aprendizagem seguros e não violentos, inclusivos e eficazes para todos"(UNESCO, 2015, p.23).

Nesta referida meta, é apresentado um tópico relevante para o Brasil que, não só assinou esse compromisso internacional, como também já havia, internamente, um compromisso em comum: o Plano Nacional de Educação (PNE) (BRASIL, 2014). Tal tópico trata da melhoria da infraestrutura escolar, recorrente em inúmeras estratégias do PNE e que se mostra fundamental para caminhar em consonância com as metas nacionais e globais.

Em paralelo à essa preocupação com as metas, o Brasil apresentou nas últimas décadas a expansão de matrículas em mais de 110% nas instituições de Ensino Superior (BARROS, 2015). Essas instituições estão em uma das duas divisões do Sistema Educacional Brasileiro, que também possui o segmento de Educação Básica.

Pode-se observar, entretanto, é que essa democratização do Ensino Superior aconteceu

de forma desordenada e não foi acompanhada de uma atenção à questão, entre outras, da infraestrutura mínima para funcionamento (MARQUES *et al.*, 2010).

Outro ponto importante de se mencionar é que a maioria dessa expansão não se deu no âmbito público. Apesar de se ter percebido um aumento no número de matrículas em Instituições de Ensino Superior públicas, a participação no setor caiu de 31,1% para 25,8% em 2010, vendo o âmbito privado dominar ainda mais o setor e ter uma grande parcela de responsabilidade nessa infraestrutura mínima precária (BARROS, 2015).

Além disso, o que intensifica e torna o problema uma questão também mercadológica e empresarial é que 75% desse mercado privado está concentrado em dez grandes investidores (SANTOS *et al.*, 2017). Esses grupos educacionais brasileiros (como Cogna, Estácio, Ânima) se encontram, em alguns casos, como empresas de capital aberto, ou seja, com compromissos de maximização do lucro e retorno sobre os investimentos feitos pelos acionistas (SANTOS *et al.*, 2017).

Ainda que o desafio de integrar soluções e investimentos de forma a ter melhor resposta aos sócios seja um grande desafio, há também de se pensar na escala de atuação dessas empresas. Observa-se que coordenar investimentos para centenas de milhares de alunos, de milhares de unidades e ainda em diferentes regiões de um vasto país é uma tarefa desafiadora.

O desafio educacional no Brasil, então, se condensa hoje (tomando a Educação Superior como base), entre outros, na coexistência da busca por atingir os objetivos e metas da Agenda 2030 e do PNE e da maximização do lucro aliada à escalabilidade de soluções. Um desafio de otimização da utilização dos recursos.

## 1.2 Relevância do tema

O processo de decisão de investimentos em infraestrutura é complexo, tendo que compor, então, critérios variados com resultados maximizados.

O que se percebe é que algumas dessas tendências de consolidação do mercado da Educação Superior estão prevendo um ponto semelhante para o ramo da Educação Básica, seu par na divisão do Sistema Educacional Brasileiro.

As movimentações dos últimos anos no setor da Educação Básica traz indicativos do percurso ocorrido no Ensino Superior e outros pontos que fortalecem a complexidade dessas decisões:

- Aumento no número de matrículas no âmbito privado do setor;
- Movimentação de consolidação do mercado por grupos educacionais;

- Busca pela democratização das instituições privadas com modelos de baixo custo;
- Falta de referência pública para garantia dos indicadores de infraestrutura escolar.

Primeiramente, se tem o indicador de aumento e ganho de participação no mercado por parte da iniciativa privada.

Os dados das escolas de Ensino Básico brasileiras são coletados e fornecidos publicamente de maneira anual pelo Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep).

Entre dados da infraestrutura, dados de desempenho educacional e de pessoal ou equipe administrativa, o Censo Escolar fornece também o quantitativo de matrículas. A Figura 1.1 mostra um compilado dessas matrículas considerando o âmbito privado da Educação Básica.

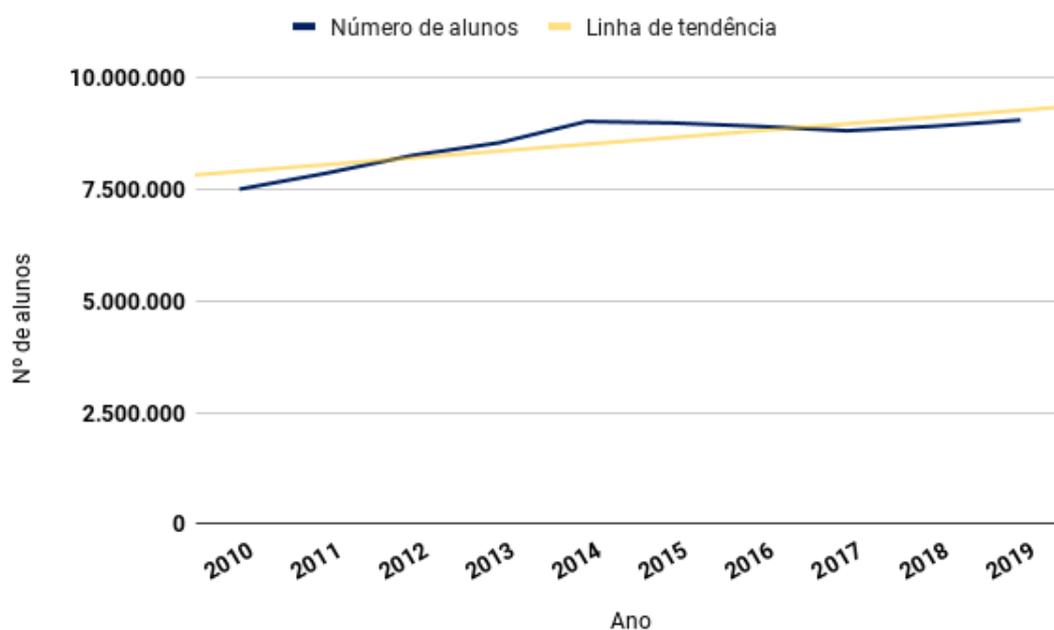


FIGURA 1.1 – Evolução do número de matrículas no Ensino Básico privado no Brasil. Fonte: autoria própria, 2020.

É possível se observar na Figura 1.1 que, de fato, o número de matrículas vem crescendo ao longo da última década. Entretanto, não só isso atrai o mercado privado. A dimensão e o potencial de crescimento desse mercado também são atrativos: o Brasil possui mais de 47 milhões de alunos na Educação Básica, em detrimento aos 8 milhões na Educação Superior, que já chamam a atenção de iniciativas privadas.

Essa atratividade vem sendo percebida por investidores e uma tendência atual é a de formação de grupos educacionais. A Tuneduc é uma consultoria educacional brasileira

especializada na coleta e trabalho de dados educacionais. A Figura 1.2 mostra uma pesquisa de mercado realizada no ano de 2016 sobre os grupos educacionais presentes na educação básica brasileira (TUNEDUC, 2016).

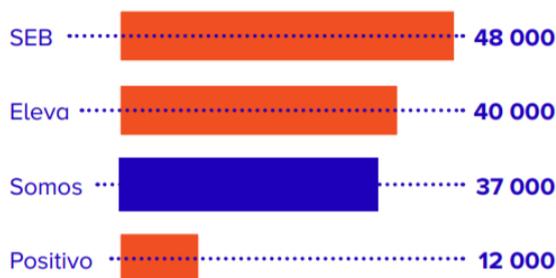


FIGURA 1.2 – Grupos Educacionais e respectivo número de alunos.  
Fonte: (TUNEDUC, 2016)

Percebe-se que ainda no ano de 2016, esses grupos não dominavam nem 1% do mercado, entretanto, já se iniciara a movimentação para a consolidação. Esse movimento teve continuação no passar dos anos e o que vale ressaltar é que a possibilidade de dominação do mercado se expande, ainda que em fase embrionária, rumo ao que é visto hoje no Ensino Superior.

Expandir a participação no mercado significa para os grupos educacionais seguir duas estratégias principais: competir, fundir ou adquirir outras instituições de Ensino Básico privadas ou atrair a maioria dos alunos que hoje estão em instituições públicas de ensino.

Balizados por essa segunda abordagem de crescimento, os grupos educacionais da Educação Básica apostam na criação de modelos de escola de baixo custo. Isso acontece entendendo o potencial de público a ser atingido que hoje não está na educação privada, mas poderia dependendo das condições de pagamento.

Ainda que em condições de infraestrutura melhores que às de Ensino Superior, esse modelo de negócio escolar de baixo custo não se diferencia de algumas instituições públicas de ensino no que tangibiliza os recursos disponíveis. Algumas não possuem projetores e têm de ser criativos para adequar o espaço que possuem de acordo com a necessidade, por exemplo, transformando um espaço de circulação de pessoas em auditório (SIQUEIRA; NOGUEIRA, 2017).

Essa entrega de menor qualidade no início da construção e aplicação do modelo de negócio, entretanto, é prevista. Isso porque aos poucos integram tecnologia para continuamente gerar melhorias, sejam elas de desempenho educacional ou operacional, e estarem em consonância com as necessidades do público, conforme previsto na Teoria da Inovação Disruptiva (CHRISTENSEN *et al.*, 2015).

Ainda que diante dessas práticas aparentemente normais de modelos de negócio, o

fato é que os requisitos mínimos estabelecidos e homologados no PNE jamais podem ser deixados de lado, ainda que na iniciativa privada. Isso levando em consideração, principalmente, que esses fatores estão correlacionados com o desempenho escolar (BROOKE; SOARES, 2008).

É possível observar que essa iniciativa privada baliza suas decisões também por aquilo que é visto na iniciativa pública. Oferecer pequenas melhoras com relação ao que é oferecido pelo governo já as diferencia na percepção de qualidade pela sociedade. Entretanto, as escolas públicas, ainda hoje, estão muito distantes do mínimo previsto, em que cerca de 82,9% se encontram abaixo das categorias que tangibilizam esse marco inferior (NOLETO *et al.*, 2019).

Dessa forma, se vê uma série de composições no contexto da Educação Básica que agravam o que pode vir no futuro, a saber: (i) um mercado crescente, (ii) em consolidação e (iii) com entrada de capital que exige retorno (estruturas semelhantes ao do Ensino Superior e que acarretaram em graves problemas de entrega em infraestrutura escolar). Fora isso, uma falta dos órgãos públicos em referenciar, servir de base para o mercado e que esteja indo de encontro ao que é previsto nas metas nacionais e internacionais.

### 1.3 Definição do problema

Dada a complexidade da situação em integrar fatores infraestruturais com outros múltiplos fatores, fez-se o seguinte questionamento: "Como garantir que o poder público seja referência em eficiência na alocação de recursos em infraestrutura de forma a otimizar o desempenho educacional e o crescimento no número de matrículas (referência para o crescimento de receita para escolas particulares)?"

Os primeiros pontos que nortearam a busca por essa resposta são os de entender que variáveis discriminantes relacionadas às escolas, como dependência administrativa (federais, estaduais ou municipais), localização (urbana ou rural), unidade da federação (estado localizado) e complexidade (segmentos ofertados - ensino infantil, fundamental ou médio) deveriam estar muito bem definidas (NOLETO *et al.*, 2019). Não seria válido, por meio dos dados que são triados pelo Censo, procurar uma resposta geral de início.

Diante disso, fixou-se a região urbana de São José dos Campos como zona de amostragem para o estudo. Além disso, optou-se pela Administração Municipal e exclusiva para instituições que contemplam o Ensino Fundamental (alunos de 6 a 14 anos). Isso se dá pelo fato dos outros dois segmentos dentro da Educação Básica (Ensino Infantil e Ensino Médio) possuírem nuances nas suas infraestruturas de forma a afetar suas práticas pedagógicas e pelo Ensino Fundamental, por sua vez, possuir características que se fazem presentes nos demais segmentos (NOLETO *et al.*, 2019).

Não só essa ponderação de considerar as características presentes nos demais segmentos foi feita, como também fica clara a amplitude de resolução cabível pelo Ensino Fundamental para justificar sua escolha, dado que é o maior em número de instituições e de alunos dentro da Educação Básica (60,7% e 56,16%, em 2019).

## 1.4 Objetivo do trabalho

O objetivo deste trabalho é aclarar os indicadores de infraestrutura escolar, entendendo o percurso de outras literaturas em agrupá-los em dimensões, e utilizá-los e correlacioná-los com fatores importantes para o desempenho e crescimento da instituição de ensino fundamental.

Além disso, entendendo a relevância e potencial do desenvolvimento do mercado escolar, principalmente de escolas de baixo custo, também é objetivo determinar modelos de referência em eficiência de alocação de recursos por essas instituições de ensino fundamental. Busca-se com esse objetivo entender quais indicadores são mais importantes para um melhor retorno, seja financeiro por meio da quantidade de matrículas, seja de aprendizado por meio das avaliações nacionais, da instituição de ensino fundamental.

Em suma, segue abaixo os dois principais objetivos do trabalho:

- Elucidar os indicadores de infraestrutura que são coletados por meio dos Censos Escolares, seus agrupamentos em dimensões e sua correlação com fatores de desempenho escolar e crescimento quantitativo das instituições de ensino fundamental;
- Utilizar a ferramenta da Análise Envoltória de Dados (DEA - em inglês) para identificar modelos eficientes de alocação dos investimentos em infraestrutura escolar.

## 1.5 Estrutura do trabalho

Este trabalho é desenvolvido nos próximos capítulos de forma a aprofundar as ideias e objetivos estabelecidos no primeiro capítulo. Ademais, é feita uma fundamentação e análise da ferramenta escolhida em conjunto com a sua aplicação e respectivas conclusões acerca da eficiência.

O capítulo 2 é uma explanação de conceitos relevantes, principalmente relacionados à infraestrutura escolar, para posterior aplicação na ferramenta.

Uma revisão da Análise Envoltória de Dados é realizada no capítulo 3, tangibilizando suas limitações e estudos prévios não só no âmbito educacional.

---

A aplicação dos conceitos do capítulo 2 na ferramenta explicitada no capítulo 3 é realizada no quarto capítulo. Aliado à isso, são discutidos os modelos mais eficientes encontrados, refletindo em cima do que pode ser considerado uma fortaleza ou fraqueza dentro da alocação de recursos para as instituições.

Por fim, segue no capítulo 5 uma conclusão elaborada com os resultados e a retomada do cenário contextualizado no primeiro capítulo. As referências bibliográficas citadas ao longo deste vêm logo em seguida.

## 2 Conceitos Fundamentais

Definidos os objetivos, o trabalho passa para os conceitos que são fundamentais para a compreensão do problema. As referências para conceituação são advindas de um filtro dos diversos artigos que carregam nomenclatura referenciada pelas palavras "infraestrutura escolar". Paralelo a isso, buscou-se entender como as competências jurídicas do país evoluíram os conceitos relacionados à essa frente da educação, principalmente, no âmbito legal e regulatório.

O percurso seguido foi desenvolvido com base em três fatores principais: tempo do artigo, a tentativa de sintetizar os dados disponibilizados de forma pública em dimensões (*clusters*) que façam sentido para a posterior aplicação na ferramenta e sua tentativa em estabelecer evidências mensuráveis acerca da infraestrutura escolar.

O tempo como um filtro é interessante pela constante mudança dos contextos educacionais no Brasil, que foi se atualizando e especificando suas estratégias em nível constitucional, como será visto mais a frente. A tentativa de *clusterizar* também se mostra relevante porque é imprescindível para aplicação na ferramenta de avaliação de eficiência de forma a se obter modelos de referência para instituições. Por último, a ideia de trazer indicadores numéricos é para poder, de fato, se propor um modelo mais abrangente de comparação entre instituições.

Além dos tópicos acima, foram priorizados artigos nacionais, haja vista o fato de que em países de primeiro mundo a correlação entre infraestrutura escolar e o desempenho ou qualidade dos indicadores educacionais não é tão relevante, justamente por já terem passado pelas condições mais básicas de atendimento. Os resultados encontrados nessas literaturas diferem bastante do cenário atual do Brasil (BROOKE; SOARES, 2008).

Diante disso, a organização desses conceitos transcorreu quatro tópicos de estudo principais:

- A definição de qualidade da educação no Brasil;
- O histórico de tentativa regulatória da infraestrutura escolar e sua definição;
- As variáveis de mensuração da infraestrutura escolar;

- As tentativas de *clusterização* e um modelo conceitual para tratamento dos itens mensuráveis de infraestrutura;

## 2.1 Definição de qualidade de educação no Brasil

Para a compreensão da qualidade de educação acredita-se ser importante definir qual a chegada esperada e quais os parâmetros que servem de termômetro para intitular uma instituição como eficiente em investir ou não.

Sobre o entendimento do que de fato é qualidade de educação, o que se percebe é que este é um conceito mutável. Ele é algo que depende do contexto em que se está inserido, das demandas do momento, dos conhecimentos e ferramentas disponíveis, das necessidades e, ainda mais, que é construído socialmente num consenso democrático. Pressupõe-se que sejam feitas constantes revisões do conceito (CAMPOS, 2000).

Diante disso, a história do Brasil percorreu diferentes óticas desse conceito. O que é interessante é entender que, por mais que atualizações sejam feitas, o significado na verdade é cumulativo. Não se perde ao longo do tempo o significado inicial e vai apenas se tornando mais robusto e adequado ao próximo passo necessário no contexto. Isso foi definido como o significado polissêmico da qualidade de educação (GUSMÃO, 2013).

O ponto de partida se deu na década de 20 com o objetivo claro de universalização do ensino. Nesse contexto, qualidade de educação era entendido como conseguir abarcar todas as crianças com idade dentro de alguma instituição de ensino. Pode se imaginar o quanto a infraestrutura era considerada, dado que existiam limitações também de espaços físicos para receber toda a quantidade de crianças.

O conceito, então, perpassava basicamente por um indicador de expansão universal das matrículas e cabia bem em um Brasil em que a escola era considerada apenas para a elite. A Constituição Federal de 1988 veio para legitimar esse conceito, dado que legitimou o direito à educação como algo fundamental.

Hoje em dia, não se vê mais tantos problemas no que garante a CF. Se tornou legítimo que acesso existe. Um indicador interessante do IBGE/Pnad, de 2009, traz que a taxa de atendimento escolar, considerando as crianças com idade de 6 a 14 anos, é de 98,1% (GUSMÃO, 2013).

O que se foi percebendo no tempo, entretanto, é que por mais que o acesso estivesse sendo garantido, um novo problema surgia: múltiplas reprovações seguidas de abandono. Dessa forma, a permanência nas escolas estava em cheque e, a partir de então, o conceito de qualidade passou a abranger e procurar soluções para também contribuir com um fluxo regular dos alunos no tempo (OLIVEIRA; ARAUJO, 2007).

Regularizado esses dois problemas iniciais que definiram a qualidade em um primeiro momento, surgiu a demanda de medir a qualidade. Com isso, uma terceira definição de qualidade apareceu. A infraestrutura começou a se tornar mais presente nas pautas educacionais dentro dos fatores a serem medidos e conhecidos como "materiais". Junto destes, os fatores "imateriais" também foram sugeridos na medição, como as interações que acontecem dentro da escola e da casa dos alunos (CASASSUS, 2007).

Por fim, entretanto, essa medição se resumiu ao sucesso acadêmico dos alunos. Esse sucesso acadêmico foi definido por avaliações gerais e submetidas a todos. Por meio da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), surgiu uma avaliação internacional de medição da educação dos países chamada Programa Internacional de Avaliação dos Estudantes (Pisa) em 1997.

Fora essa, em nível nacional, houve a criação do Sistema Nacional de Avaliação da Educação Básica (Saeb) para entender a qualidade da educação de uma forma mais objetiva. Não só isso, mas também pensou-se em fatores importantes para que houvesse comparações entre instituições e práticas que poderiam ser aplicadas de forma a obter mais resultados.

Num horizonte mais recente, outras discussões ainda contribuem para definição da qualidade de educação, haja vista essa condição evolutiva e dependente do contexto da questão. Atualmente, encara-se bastante as questões de inclusão, diversidade e generalidade total de acesso nos processos educativos, principalmente pela lente dos direitos humanos e de equidade (GUSMÃO, 2013).

Dentro dessas últimas discussões, a infraestrutura ganhou ainda mais espaço. O direito à educação de qualidade incorporou fatores que acionam transversalmente tudo que contribui no processo de ensino e aprendizagem e, dentro deste, a infraestrutura é condição essencial (BROOKE; SOARES, 2008).

## **2.2 O histórico de tentativa regulatória da infraestrutura escolar e sua definição**

Ao observar a evolução da definição de qualidade de educação no Brasil, o conceito é abrangente e cumulativo. Ademais, a infraestrutura se faz presente sim com uma relação importante na história de construção deste conceito e, até por isso, também passou por longas discussões a respeito de sua definição na história do regulamento brasileiro.

É possível verificar a existência de três principais diretrizes buscaram dar luz à sua definição e dar um sentido prático de referência do que seriam seus indicadores mínimos necessários para padronização do acesso mínimo por parte das instituições:

- Constituição Federal de 1988 (CF)
  - Artigo 206
  - Artigo 60
- Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional de 1996 (LDB)
- Planos Decenais de Educação (PNE)
  - Plano Nacional de Educação de 2001
  - Plano Nacional de Educação de 2014

A diretriz maior do Brasil, sua Constituição Federal, é um conjunto de normas que regem um país. Por meio deste regimento, se estabelece também uma série de deveres a serem cumpridos pela entidade política vigente e também uma série de direitos àqueles que são cidadãos da unidade federativa.

Dentro da seção de Educação na Consituição da República Federativa do Brasil de 1988 e, mais precisamente no seu Artigo 206, se estabelece os princípios do ensino país. No seu inciso I, se afirma que haja "igualdade de condições para o acesso e permanência na escola". Isso é bem de acordo com o visto na história da definição de qualidade de educação e reforçado no inciso IV que vem com a "garantia de padrão de qualidade"(BRASIL, 1988).

A garantia de um padrão de qualidade é direcionada também pelo Artigo 60 do mesmo documento, em que se prevê a destinação de parte dos recursos dos Estados, Distrito Federal e Municípios para a manutenção e desenvolvimento do da educação básica.

Mais recentemente, essa destinação de recursos foi atualizada, no inciso I deste mesmo artigo, para a criação do Fundo de Manutenção e Desenvolvimento da Educação Básica e de Valorização dos Profissionais da Educação, o Fundeb.

O Fundeb é uma atualização do Fundef (Fundo de Manutenção e Desenvolvimento do Ensino Fundamental e Valorização do Magistério). O Fundef foi homologado dias depois da aprovação da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional de 1996 (LDB).

A LDB buscou reforçar os tópicos trazidos no texto da Constituição Federal em garantir esses padrões mínimos de qualidade de ensino. Na sua escrita, ainda genérica e pouco diretiva como a CF, esmiuça que esse padrão passa por quantidades mínimas de "insumos indispensáveis ao desenvolvimento do processo de ensino-aprendizagem"(BRASIL, 1996). Esse processo de ensino-aprendizagem já visto como sendo composto, também, por itens de infraestrutura escolar.

Das observações até então, essas diretrizes buscam tornar dever o padrão mínimo de qualidade da educação e conseqüentemente da infraestrutura. Entretanto, não detalham os itens compreendidos na infraestrutura e tampouco suas quantidades de referência.

As diretrizes responsáveis por um detalhamento mais fiel dos indicadores mínimos de qualidade de infraestrutura são os Planos Decenais de Educação. Esses planos nacionais foram capazes de começar discretizar os fatores importantes de estarem presentes no espaço físico e material da escola.

Em 2001, o Plano Nacional de Educação aprovado trouxe oito tópicos que, no prazo de um ano, deveriam ter seus parâmetros mínimos de referência estabelecidos conforme o tamanho das instituições e a região para escolas do ensino fundamental (BRASIL, 2001):

- espaço, iluminação, insolação, ventilação, água potável, rede elétrica, segurança e temperatura ambiente;
- instalações sanitárias e para higiene;
- espaços para esporte, recreação, biblioteca e serviço de merenda escolas;
- adaptação dos edifícios escolares para o atendimento dos alunos portadores de necessidades especiais;
- atualização e ampliação do acervo das bibliotecas;
- mobiliário, equipamentos e materiais pedagógicos;
- telefone e serviço de reprodução de textos;
- informática e equipamento multimídia para o ensino.

O detalhamento das condições mínimas com base nos oito itens fundamentais acima veio apenas em 2006 com um processo chamado Levantamento da Situação Escolar. Esse levantamento tinha como objetivo entender e fiscalizar as instituições com base em notas vinculadas à variáveis contidas dentro dos itens.

Ele não chegou a ser aplicado de uma forma funcional e que os relatórios das escolas estivessem disponíveis. Entretanto, se viu pela primeira vez um formulário e ranqueamento descritivo com base no que estava de fato sendo acessado pelas instituições de ensino.

Uma forma comum de serem medidas essas variáveis eram notas por blocos de funcionamento. Por exemplo, no bloco de Espaços Educativos, se dava uma nota para as salas de leitura, sala de TV e vídeo, salas de multimeios e de ciências com base em: nota 0 para inexistente ou com funcionamento com problema maior que 75%, nota 1 para existência com problemas entre 25% e 75% e nota 2 para existência sem problemas ou com problemas de até 25% no espaço.

Com essas faixas de nota, por serem muito dúbias ou subjetivas (o que de fato seria a existência com 50% de problema?) e por dependerem de um acompanhamento especializado de arquitetos e engenheiros, o modelo não foi executado e não seguiu em andamento.

O fato é que, apenas em 2014, com o novo Plano Nacional de Educação é que se teve mais ciência da verdadeira barra mínima de infraestrutura escolar. O PNE de 2014 veio de uma forma mais organizada com 10 diretrizes, 20 metas e 254 estratégias para a década até 2024.

Nas estratégias da Meta 20, este plano traz os recursos mínimos por meio de um indicador chamado Custo Aluno-Qualidade Inicial (CAQi). Basicamente, este é exatamente os padrões mínimos a existirem na instituição (BRASIL, 2014).

A definição do indicador CAQi, entretanto, só foi realmente detalhado no ano seguinte por meio de um Grupo de Trabalho insituído pelo Ministério da Educação (MEC). Uma ilustração dessa definição final dos itens para o Ensino Fundamental Anos Iniciais (antigo Ensino Fundamental I) e Ensino Fundamental Anos Finais (antigo Ensino Fundamental II) aparecem em seguida (EDUCAÇÃO, 2018):

Espaços - Ensino Fundamental Anos Iniciais		
Descrição	Quantidade	m <sup>2</sup> /item
Sala de aula	5	45
Sala de direção/equipe	1	9
Sala de secretaria	1	30
Sala da equipe pedagógica	1	30
Sala de professores	1	20
Sala de leitura/biblioteca	1	80
Sala de reunião e convivência das crianças	1	12
Sala de atividades artísticas	1	45
Sala de recursos multifuncionais	1	20
Sala/auditório	1	70
Pátio coberto	1	180
Brinquedoteca	1	30
Refeitório	1	100
Copa/cozinha	1	60
Quadra coberta	1	450
Parque infantil descoberto	1	200
Banheiro de funcionários e professores	1	20
Banheiro de alunos	1	45
Sala de depósito	1	8
Centro de documentação e produção gráfica e audiovisual	1	10
Laboratório de ciências	1	55
Laboratório de informática	1	55

FIGURA 2.1 – Definição e distribuição de ambientes do Ensino Fundamental Anos Iniciais. Fonte: (EDUCAÇÃO, 2018)

Espaços - Ensino Fundamental Anos Finais		
Descrição	Quantidade	m <sup>2</sup> /item
Sala de aula	8	55
Sala de direção/equipe	1	9
Sala de secretaria	1	35
Sala da equipe pedagógica	1	30
Sala de professores	1	25
Sala de leitura/biblioteca	1	80
Sala de reunião e convivência das crianças	1	0
Sala de atividades artísticas	1	55
Sala de recursos multifuncionais	1	30
Sala/auditório	1	100
Pátio coberto	1	220
Brinquedoteca	1	0
Refeitório	1	120
Copa/cozinha	1	70
Quadra coberta	1	750
Parque infantil descoberto	1	0
Banheiro de funcionários e professores	1	20
Banheiro de alunos	1	65
Sala de depósito	1	12
Centro de documentação e produção gráfica e audiovisual	1	10
Laboratório de ciências	1	70
Laboratório de informática	1	60

FIGURA 2.2 – Definição e distribuição de ambientes do Ensino Fundamental Anos Finais. Fonte: (EDUCAÇÃO, 2018)

Como o CAQi faz uma relação geral do que deve existir, no mínimo, e ainda do custo por aluno das instituições, há também tabelas de itens, equipamentos e demais unidades básicas de energia, luz e tratamento de esgoto detalhados fora os espaços.

Em suma, a trajetória de estabelecimento do que é infraestrutura escolar e como o governo a assegura foi longa e apenas recentemente é que se teve uma forma mais objetiva. Ainda com essas últimas referências oriundas dos compromissos legais do PNE de 2014, há uma diferença entre os itens que são de fato coletados e disponíveis de forma pública e os presentes nas regulações e parâmetros indicadores. Dessa forma, é apresentado a seguir as variáveis mensuradas anualmente para composição do método.

### 2.3 As variáveis de mensuração da infraestrutura escolar

A principal fonte de dados escolares no Brasil advém do Censo Escolar da Educação Básica, um instrumento de coleta de informações da educação realizado anualmente sob coordenação do Instituto de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep) em parceria com as secretarias estaduais e municipais de todo o país.

Este instrumento abrange todas as etapas e modalidades desse segmento da educação e divide sua base em quatro grandes áreas de publicação:

- Dados da escola;
- Dados das turmas;
- Dados das matrículas;
- Dados dos docentes.

A base de dados da escola abrange 168 variáveis entre os temas de localização, segmentos abarcados, existência de atendimentos e adaptações para pessoas com necessidades especiais e, além disso, é a principal fonte de dados da infraestrutura das instituições.

A base das turmas integra os detalhes da rotina pedagógica de aulas, os horários e dias de aulas, os sábados letivos e as disciplinas que estão sendo ministradas na escola. Esta reúne 88 variáveis de caracterização para cada turma da instituição.

As bases de matrículas são as que envolvem mais dados. Elas reúnem os detalhes dos alunos que estão oficialmente vinculados à cada instituição, trazendo até mesmo a data de nascimento dos estudantes. Fora isso, compõem em suas 92 variáveis o tipo de transporte utilizado para que cada um chegue até a instituição, se existem e quais são suas necessidades especiais e também a duração, em minutos, de permanência na turma ou em atividades complementares ofertadas pela escola.

Por fim, o Inep também oferece uma base de dados sobre os docentes de cada instituição dentro do Censo. Sobre os dados pessoais, segue o tipo de informação das matrículas dos estudantes, contendo data de nascimento e existência de necessidades especiais. Além disso, focam em detalhar a escolaridade dos profissionais, os números de graduações que possuem ou que estão ainda cursando e as disciplinas que tal leciona. É interessante que trazem também especializações dos profissionais em áreas específicas e atuais, como a diversidade de gênero e sexual.

Conforme o que foi supracitado, entretanto, é a base de escolas que contém as variáveis de mensuração da infraestrutura. Ela tangibiliza as mais diversas informações da estrutura: fornecimento de serviços básicos como água, esgoto e energia; existência de espaços pedagógicos (quadra, pátio, sala de professores); existência de espaços administrativos (secretaria, almoxarifado, sala da direção); o número de equipamentos importantes para a aprendizagem, como computadores e demais equipamentos de multimídia, e até mesmo outras variáveis, como o tratamento do lixo.

O detalhamento dessa base de itens de infraestrutura encontra-se no Anexo A deste documento.

Conjuntamente com o Censo, o Inep também é responsável pela coordenação do Saeb (Sistema de Avaliação da Educação Básica). É um tipo de teste em larga escala que avalia estudantes, professores e gestores escolares. Os primeiros contemplam alunos que estão

na transição entre segmentos (última série do Ensino Fundamental I, Ensino Fundamental e Ensino Médio) e os avalia nas disciplinas de Matemática e Português.

Fora uma avaliação acadêmica, os alunos passam por questionários socioeconômicos e sobre a instituição (junto com os professores e gestores). Estes questionários sobre a instituição também contemplam itens de infraestrutura escolar, mas neste, com um intuito de elucidar as condições dos espaços na percepção de quem convive nele no cotidiano. Dessa forma, tem-se algumas percepções sobre a ventilação, iluminação, condições de depreciação e conservação da escola.

Um detalhamento dessa base disponibilizada é ilustrada no Anexo B.

Dada a quantidade de informação que se percebe recolher acerca da infraestrutura escolar, é recorrente na literatura a busca por formas de tratar esses dados de maneira a se condensar em um indicador. Uma revisão dessas tentativas é ilustrada a seguir.

## 2.4 As tentativas de *clusterização* e um modelo conceitual para tratamento dos itens mensuráveis de infraestrutura

Dada a complexidade e a quantidade de dados que são coletados de infraestrutura escolar, o estabelecimento de indicadores claros para determinação das escalas das instituições bem como para balizar as tomadas de decisão foi recorrentemente estudado.

Dentre estes, destaca-se inicialmente (OLIVEIRA; LAROS, 2007). Os autores utilizaram a metodologia da análise fatorial para determinar construtos capazes de "*clusterizar*" as variáveis de infraestrutura presentes no Censo Escolar do ano de 2002.

No época supracitada, a base de dados compunha 54 variáveis relativas aos itens de infraestrutura escolar. Os autores, então, partiram para uma análise exploratória da base com o objetivo de detectar e remover *outliers*, ou seja, escolas com as quais se percebia alguma dessintonia com a análise, provavelmente advindas de problemas de coleta de dados.

Após essa curadoria inicial, passaram para a busca por matrizes de correlações entre as variáveis e posterior análise por componentes principais.

Como resultado, (OLIVEIRA; LAROS, 2007) foram capazes de encontrar três componentes principais de *clusterização* das variáveis: Infraestrutura escolar e tecnológica (com variáveis como quantidade média de computadores, impressoras e afins, juntamente, com menor índice de correlação, com a existência de quadra de esportes e merenda escolar), Infraestrutura básica e alimentar (com as variáveis de energia, água, lixo e itens relaciona-

dos à alimentação, como freezer, cozinha, depósito de alimentos) e Condições favoráveis de ensino (com variáveis mais relativas às condições de atendimento da escola, como horário, tamanho da turma, frequência de aulas).

O que se percebe é que essa dimensionalização das variáveis aconteceu de maneira a, ainda assim, não discretizar algumas variáveis em outras dimensões. Algumas correlações encontradas eram quantitativamente elevadas e poderiam ser novamente passadas pela análise para criação de uma nova dimensão.

Em (NETO *et al.*, 2013), por sua vez, foi utilizado um método mais moderno. O Teorema de Resposta ao Item foi incorporado para um universo de 24 variáveis de infraestrutura escolhidas do Censo Escolar de 2011. Neste, o objetivo estava em determinar uma escala das escolas com base nos itens de infraestrutura.

Posteriormente na análise, se identificou dois itens que não se acometiam diretamente ao objeto do estudo, focado no ensino fundamental e estes foram retirados da análise.

Aplicada a metodologia, o estudo teve como resultado uma escala de quatro níveis das escolas da etapa de ensino estudada: elementar, básica, adequada e avançada.

O nível elementar condizia a variáveis relacionadas à aspectos elementares como água, energia, esgoto e cozinha. O nível básico, além de incorporar os anteriores, continha elementos como sala de diretoria e equipamentos eletrônicos como TV, DVD e computadores. O nível adequado, por sua vez, contemplou itens como sala de professores, biblioteca, quadra esportiva e acesso à internet. No nível mais avançado da escala, contemplou-se laboratório de ciências e adequações para atendimento à estudantes com necessidades especiais.

Em um estudo mais recente, (NOLETO *et al.*, 2019) buscou estabelecer indicadores para análise da infraestrutura de instituições de ensino que contemplassem a etapa do ensino fundamental no Brasil.

A metodologia buscada pelos autores envolveu tanto a análise fatorial quanto o Teorema de Resposta ao Item, presentes nos estudos anteriores. Os dados utilizados para criar as dimensões da infraestrutura foram advindos do Censo Escolar de 2013 e de 2015. A escolha de anos intervalados e não consecutivos se deram pelo fato de terem incorporado também a base do Saeb, que acontece de dois em dois anos.

Este estudo aglutinou 158 variáveis relacionadas à infraestrutura. Com a primeira etapa de análise exploratória, foram removidos aquelas que não convergiram em nenhuma das dimensões presentes. Dessa forma, restaram 61 variáveis capazes de mensurar a qualidade da infraestrutura.

Após essa primeira etapa, o TRI foi empregado para determinação dos indicadores que contemplassem essas variáveis. Como resultado, obtiveram 11 indicadores que "clusteriza-

vam”essas 61 variáveis de infraestrutura. Fora os 11 indicadores, os autores estabeleceram ainda 5 dimensões específicas em que esses indicadores poderiam ser expressos com base na literatura revisada: (i) área (com outras variáveis não contempladas nas 61 supracitadas, mas referentes à conceitos discriminantes como município, se em zona urbana ou rural ou tipo de construção - prédio, casa, igreja, etc); (ii) Condições de atendimento (com variáveis também discriminantes acerca do ciclo abarcado e as matrículas da instituição); (iii) Condições do estabelecimento de ensino; (iv) Condições para o ensino e aprendizado; (v) Condições para a equidade.

Todas essas dimensões, indicadores e variáveis são ilustrados nas Figuras 2.3 e 2.4 a seguir.

DIMENSÃO	INDICADOR	VARIÁVEIS	FONTE
Área	Localização Geográfica	Município (CO_Município) Unidades da Federação (CO_UF) Regiões do país (CO_REGIAO)	Variáveis da escola (CENSO ESCOLAR)
	Localização da escola	Urbana/rural (TP_LOCALIZACAO) Localização diferenciada (assentamento, indígena, quilombola)	Variáveis da escola (CENSO ESCOLAR)
	Local de funcionamento da escola	Em prédio escolar (ID_LOCAL_FUNC_PREDIO_ESCOLAR) Em sala de empresa (ID_LOCAL_FUNC_SALAS_EMPRESA) Em Unidade Socioeducativa (ID_LOCAL_FUNC_SOCIOEDUCATIVA) Em Unidade Prisional (ID_LOCAL_FUNC_PRISIONAL) Em Unidade Socioeducativa/Prisional (IN_LOCAL_FUNC_PRISIONAL_SOCIO) Em Templo/Igreja (ID_LOCAL_FUNC_TEMPLO_IGREJA) Em casa do professor (ID_LOCAL_FUNC_CASA_PROFESSOR) Em galpão (ID_LOCAL_FUNC_GALPAO) Em outros espaços (ID_LOCAL_FUNC_OUTROS) Em salas de outra escola (ID_LOCAL_FUNC_SALAS_OUTRA_ESC) Prédio compartilhado com outra escola (ID_ESCOLA_COMP_PREDIO)	Variáveis da escola (CENSO ESCOLAR)
Condições de atendimento	Atendimento	Etapas ofertadas do Ensino Fundamental (IN_ENS_FUND) Etapas ofertadas (Etapas) Total de matrículas (N_MATRICULA_TOTAL) Total de matrículas no Ensino Fundamental (N_MATRICULAS_EF_ESCOLA) Tamanho da escola (faixas de matrícula total)	Variáveis da base de matrículas (CENSO ESCOLAR)
		Total de turmas (N_TURMAS_ESCOLA)	Variáveis da turma (CENSO ESCOLAR)
		Tamanho das turmas (RAZAO_MATR_TURMA)	Variáveis da base de matrículas e da turma (CENSO ESCOLAR)
Condições do estabelecimento de ensino	Acesso a serviços	Abastecimento de água pela rede pública (IN_AGUA_REDE_PUBLICA) Abastecimento de energia elétrica pela rede pública (IN_ENERGIA_REDE_PUBLICA) Esgoto pela rede pública (IN_ESGOTO_REDE_PUBLICA) Coleta periódica de lixo (IN_LIXO_COLETA_PERIODICA)	Variáveis da escola (CENSO ESCOLAR)
	Instalações do prédio	Existência de banheiro (BANHEIRO_FORADENTRO) Existência de cozinha (IN_COZINHA) Existência de refeitório (IN_REFEITORIO) Existência de despensa (IN_DESPENSA) Água filtrada (IN_AGUA_FILTRADA) Existência de sala de diretoria (IN_SALA_DIRETORIA) Existência de sala de professores (IN_SALA_PROFESSOR) Existência de sala de secretaria (IN_SECRETARIA) Existência de almoxarifado (IN_ALMOXARIFADO)	Variáveis da escola (CENSO ESCOLAR)

FIGURA 2.3 – Dimensões, indicadores e variáveis da infraestrutura escolar.

Fonte: (NOLETO *et al.*, 2019)

Condições do estabelecimento de ensino	Prevenção de danos	Existência de sistema de proteção contra incêndio (Prot_incendio_imp) Existência de boa iluminação do lado de fora da escola (Ilum_foraEscolUNI) Existência de muros, grades ou cercas (Segu_fisica) Existência de mecanismos de proteção (Segu equip)	Variáveis da escola (SAEB)
	Conservação	Estado de conservação do telhado (telhado) Estado de conservação da parede (parede) Estado de conservação do piso (piso) Estado de conservação das entradas do prédio (entrada) Estado de conservação do pátio (pátio) Estado de conservação dos corredores (corredor) Estado de conservação das salas de aula (sala) Estado de conservação das portas (portas) Estado de conservação das janelas (janelas) Estado de conservação dos banheiros (banheiros) Estado de conservação da cozinha (cozinha) Estado de conservação das instalações hidráulicas (insthidra) Estado de conservação das instalações elétricas (insteletrica) Existência de sinais de depreciação (Sinaldepr)	Variáveis da escola (SAEB)
	Conforto	Iluminação das salas (Iluminada_imp) Salas arejadas (Arejada_imp) Biblioteca ou sala de leitura é arejada e iluminada (BiblioArejllum)	Variáveis da escola (SAEB)
	Ambiente Prazeroso	Existência de pátio (PATIO_COB_DES) Existência de banheiro com chuveiro (IN_BANHEIRO_CHUVEIRO) Existência de área verde (IN_AREA_VERDE) Existência de parque infantil (IN_PARQUE_INFANTIL)	Variáveis da escola (CENSO ESCOLAR)
Condições para o ensino e aprendizado	Espaços Pedagógicos	Existência de laboratório de informática (IN_LABORATORIO_INFORMATICA) Computadores para uso dos alunos (NU_COMP_ALUNO_CAT) Existência de sala de leitura e biblioteca (SALA_BIBLIOTECA) Existência de quadra (QUADRA_COBDESCOB) Existência de laboratório de ciências (IN_LABORATORIO_Ciencias) Existência de auditório (IN_AUDITORIO)	Variáveis da turma (CENSO ESCOLAR)
	Equipamentos para apoio administrativo	Número de máquinas copiadoras (NU_EQUIP_COPIADORA_CAT) Número de impressoras (NU_EQUIP_IMPRESSORA_CAT) Número de impressoras multifuncionais (NU_EQUIP_IMPRESSORA_MULT_CAT) Número de computadores pra uso administrativo (NU_COMP_ADMINISTRATIVO_CAT) Existência de computador com acesso a internet e banda larga (IN_COMP_INT_BL)	Variáveis da turma (CENSO ESCOLAR)
	Equipamentos para apoio pedagógico	Número de TVs (NU_EQUIP_TV_CAT) Número de DVDs (NU_EQUIP_DVD_CAT) Número de aparelhos de som (NU_EQUIP_SOM_CAT) Número de equipamentos de multimídia (NU_EQUIP_MULTIMIDIA_CAT) Número de máquinas fotográficas (NU_EQUIP_FOTO_CAT)	Variáveis da turma (CENSO ESCOLAR)
Condições para a equidade	Acessibilidade	Existência de sanitário adequado a alunos com deficiência (IN_BANHEIRO_PNE) Existência de dependências e vias adequadas a alunos com deficiência (IN_DEPENDENCIAS_PNE)	Variáveis da turma (CENSO ESCOLAR)
		Infraestrutura adequada às pessoas com deficiência (Infra_deficiencia)	Variáveis do diretor (SAEB)
	Ambiente para atendimento especializado	Ensino do Sistema Braille (ID_BRILLE) Ensino do uso da Comunicação Alternativa e Aumentativa (ID_COM_ALT_AUMENT) Ensino do uso do Soroban (ID_SOROBAN) Ensino da usabilidade e da funcionalidade da informática acessível (ID_INF_ACESSIVEL)	Variáveis da turma (CENSO ESCOLAR)

FIGURA 2.4 – Dimensões, indicadores e variáveis da infraestrutura escolar.  
Fonte: (NOLETO *et al.*, 2019)

Além dessa dimensionalização, esses autores propuseram uma forma de obter um "Indicador Geral de Infraestrutura Escolar" por meio de uma correlação linear entre os indicadores encontrados. A matriz com essas correlações é mostrada a seguir.

	Serviços básicos	Instalações do prédio	Prevenção de danos	Conservação	Conforto	Ambiente prazeroso	Espaços pedagógicos	Equip. p/ apoio admin.	Equip. p/ apoio pedag.	Acessibilidade	Ambiente AEE	Infraestrutura geral
Serviços básicos	1,0	0,7	0,3	0,2	0,2	0,6	0,6	0,7	0,7	0,4	0,2	0,8
Instalações do prédio	0,7	1,0	0,3	0,2	0,3	0,7	0,7	0,8	0,7	0,5	0,3	0,9
Prevenção de danos	0,3	0,3	1,0	0,6	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,1	0,7
Conservação	0,2	0,2	0,6	1,0	0,6	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,0	0,8
Conforto	0,2	0,3	0,5	0,6	1,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0	0,6
Ambiente prazeroso	0,6	0,7	0,3	0,2	0,2	1,0	0,5	0,6	0,6	0,4	0,2	0,7
Espaços pedagógicos	0,6	0,7	0,3	0,2	0,2	0,5	1,0	0,8	0,7	0,5	0,3	0,8
Equip. p/ apoio admin.	0,7	0,8	0,3	0,2	0,2	0,6	0,8	1,0	0,8	0,5	0,3	0,9
Equip. p/ apoio pedag.	0,7	0,7	0,3	0,1	0,2	0,6	0,7	0,8	1,0	0,4	0,3	0,8
Acessibilidade	0,4	0,5	0,2	0,2	0,2	0,4	0,5	0,5	0,4	1,0	0,3	0,5
Ambiente para AEE	0,2	0,3	0,1	0,0	0,0	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	1,0	0,3
Infraestrutura geral	0,8	0,9	0,7	0,8	0,6	0,7	0,8	0,9	0,8	0,5	0,3	1,0

FIGURA 2.5 – Matriz de correlação entre os indicadores para obtenção de um indicador geral de infraestrutura.

Fonte: (NOLETO *et al.*, 2019)

# 3 Fundamentação Teórica do Método

Esta seção busca apresentar a ferramenta que será utilizada para estabelecer a eficiência nos investimentos em infraestrutura por instituições de ensino públicas de ensino fundamental. Essa ferramenta mencionada é a Análise Envoltória de Dados (DEA). Para tanto são abordados aqui conceitos, sua definição, seus modelos mais utilizados na literatura e seus respectivos embasamentos teóricos e formulações matemáticas.

Além disso, são apresentadas aplicações da ferramenta em outros trabalhos científicos (inseridos no contexto escolar ou não), as características relacionadas e também as limitações associadas.

## 3.1 Análise Envoltória de Dados - DEA (Data Envelopment Analysis)

A Análise Envoltória de Dados é uma ferramenta matemática responsável por medir a eficiência de unidades produtivas. Com base nisso, primeiramente, se tem de entender o que de fato significa eficiência.

A eficiência está ligada ao conceito de produtividade e também à comparação entre processos produtivos de atividades semelhantes (MELLO *et al.*, 2005). O conceito de produtividade, por sua vez, pode ser confundido com o conceito de eficácia. Dessa forma, se busca inicialmente separar estes conceitos para posteriormente entender a ferramenta.

### 3.1.1 Os conceitos de eficácia, produtividade e eficiência

Considerar um processo de produção eficaz é algo que depende das expectativas do agente emissor da consideração. Isso porque este é um conceito atrelado apenas àquilo que é produzido, independentemente do que se gastou para produzir tal.

Dessa forma, se um processo atinge uma meta de vendas estabelecidas previamente

em um trimestre, por exemplo, pode-se considerar que essa equipe foi eficaz. Entretanto, nada se sabe sobre a quantidade de vendedores disponíveis, a quantidade de horas de trabalho de cada um deles, quantos treinamentos foram oferecidos, entre outros insumos utilizados para atingir essa meta. Fora isso, nada se sabe sobre as vendas atingidas pelos concorrentes.

Principalmente neste tópico do desconhecimento sobre os concorrentes, a firma da equipe que atingiu a meta pode a considerar eficaz. Por outro lado, uma rival que atinge o dobro, não a enxerga da mesma maneira. A eficácia (focada apenas na quantidade atingida) depende dos pontos de vista de cada um.

A produtividade, por sua vez, se conceitua com base nessa mesma quantidade atingida ou produzida, mas agora tomando a razão desta pelo que foi gasto para produzir. Retomando o exemplo anterior, poderia se fazer a receita atingida pelas vendas dividida pelo investimento em pessoas, treinamentos e horas dos trabalhadores.

Possuindo as produtividades em vendas de empresas de mesmo produto competindo no mercado, se pode comparar e entender o que faz uma ter produtividade maior que a outra. O que se sabe de uma forma geral é que as decisões de uma empresa (como sua metodologia de gestão, seus treinamentos oferecidos, etc) a fazem alcançar esse melhor aproveitamento dos recursos à sua disposição para produção (MELLO *et al.*, 2005). Por isso, é usual que em análises de produtividade e eficiência as empresas, ou unidades produtivas, sejam chamadas de "Unidades Tomadoras de Decisão" ou por sua sigla advinda do inglês *Decision Making Units*, DMUs.

É neste contexto de comparação entre DMUs que reside o conceito de eficiência. Dado o que foi produzido com os recursos disponíveis, se compara com o máximo que poderia ter sido produzido, mantidos os recursos.

A Figura 3.1 ilustra bem esse conceito. Nela se tem a curva  $f(x)$  representando o que se chama de Fronteira de Eficiência, ou seja, o máximo possível de se produzir para cada nível de recurso disponível. Fora isso, o eixo X diz respeito aos recursos e o eixo Y à produção. A região abaixo da Fronteira de Eficiência é conhecida por Conjunto Viável de Produção, indicando onde se pode existir DMUs produzindo no contexto.

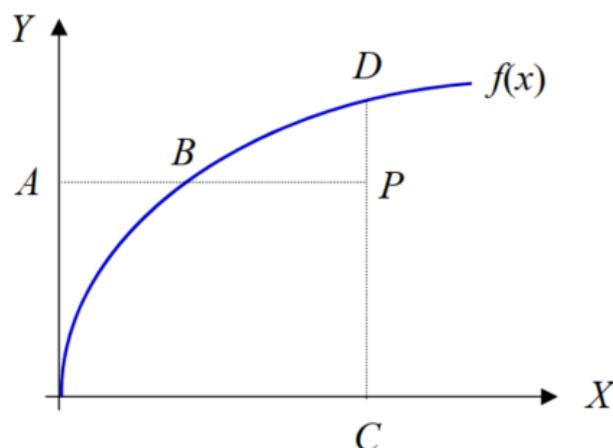


FIGURA 3.1 – Curva de um processo de produção.  
Fonte: (MELLO *et al.*, 2005)

Sobre a Figura 3.1, primeiramente, é importante se pontuar que a Fronteira de Eficiência não necessariamente necessita ser uma relação funcional, como a  $f(x)$  demonstrada. Os métodos paramétricos usualmente assim o fazem, entretanto, existem outros métodos (onde inclusive aparece o DEA) que partem da observação de outras DMUs mais produtivas para a determinar (MELLO *et al.*, 2005).

O segundo ponto está na observação de que uma DMU P presente no Conjunto Viável de Produção mas não na Fronteira de Eficiência (ou seja, uma DMU ineficiente) pode se tornar eficiente por dois caminhos principais:

- mantendo o nível de recursos, aumentando sua produção e chegando até o ponto D da Fronteira;
- reduzindo os recursos, mantendo a produção atual e chegando até o ponto B da Fronteira.

Esses dois caminhos rumo à eficiência recebem nomes especiais de orientação que serão utilizadas adiante. O primeiro é conhecido como orientação à *outputs* e o segundo como orientação à *inputs*.

## 3.1.2 A história da Análise Envoltória de Dados

### 3.1.2.1 DEA - Modelo CCR (1978)

A ferramenta de Análise Envoltória de Dados surgiu mediante um contexto de educação. A tese de doutorado de Edward Rhodes, em 1978, analisou a eficiência de um programa de acompanhamento de estudantes nos EUA conforme resultados em múltiplas

categorias educacionais relacionadas às habilidades cognitivas, afetivas e psicomotoras. Os insumos tangibilizavam o número de horas de dedicação de professores e também de envolvimento de líderes e parentes (CHARNES *et al.*, 1978).

Essa análise de eficiência teve como base o conceito de Eficiência Técnica, uma medida relativa entre 0 e 1 que propõe a capacidade de uma DMU de produzir o máximo de *outputs* com os *inputs* disponíveis. Além disso, essa Eficiência Técnica se mostra como algo que pode ser verificado com base na DMU mais eficiente (FARRELL, 1957).

Disso, então, surgiu o primeiro modelo de Análise Envoltória de Dados, conhecido como Modelo CCR, carregando as iniciais dos sobrenomes de seus autores Abraham Charnes, William Cooper e Edward Rhodes.

A medida de eficiência de qualquer DMU é obtida pela maximização do quociente da ponderação dos *outputs* pela ponderação dos *inputs* sujeita às condições de que esses mesmos quocientes para outras DMUs sejam menores ou iguais a unidade (CHARNES *et al.*, 1978).

$$\text{Maximizar } h_0 = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}} \quad (3.1)$$

Sujeito às condições:

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1; \quad j = 1, \dots, n,$$

$$u_r, v_i \geq 0; \quad r = 1, \dots, s; \quad i = 1, \dots, m.$$

Na modelação matemática se considera  $s$  *outputs* e  $m$  *inputs*. Os pesos relativos a cada *output* são as variáveis  $u_r$  e a cada *input* são as variáveis  $v_i$ . A DMU<sub>0</sub> é a DMU analisada dentre um conjunto das  $n$  DMUs presentes, sendo que seu subscrito inicial deve ser mantido quando utilizado nas condições sujeitas ao problema (CHARNES *et al.*, 1978).

A restrição de que, para qualquer DMU, sua eficiência seja no máximo 1 quando calculada com os pesos resultantes do modelo, faz com que o conjunto de pesos seja aquele mais favorável para a DMU em evidência (indicada pelo subscrito 0) (CHARNES *et al.*, 1978).

Se mesmo com os pesos mais favoráveis ainda assim  $h_0$  for menor do que 1, há a implicação de que existe pelo menos uma outra DMU que atinge este valor e de que a DMU em análise não é eficiente (CHARNES *et al.*, 1978).

O enunciado na Equação (3.1) é um problema de programação fracionária, ou seja, deve ser resolvido para cada uma das DMUs separadamente. Entretanto, os próprios

autores propõem uma transformada do problema em um de programação linear (PPL), facilitando a tratção para um número  $n$  elevado de DMUs.

$$\text{Minimizar } f_0 \tag{3.2}$$

Sujeito às condições:

$$-\sum_{j=1}^n y_{rj} \cdot \lambda_j + y_{r0} \leq 0; \quad r = 1, \dots, s$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \cdot \lambda_j \leq x_{i0} \cdot f_0; \quad i = 1, \dots, m$$

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

Nesta formulação, o objetivo é minimizar a eficiência  $f_0$  da DMU<sub>0</sub>. Para tanto, surge uma DMU virtual cujo *input*, haja vista a segunda restrição, é resultado de uma combinação linear dos *inputs* das demais DMUs e é sempre menor ou igual à intensidade do *input* da DMU analisada multiplicada por um fator  $f_0$ . É importante ressaltar que, sendo  $f_0$  uma medida de eficiência, tem-se  $f_0 \leq 1$  (SÁ, 2016).

Sendo  $\lambda_j \geq 0$ , então  $f_0 \geq 0$ , pois  $x_{i0} \cdot f_0$  é sempre maior ou igual a  $\sum_{j=1}^n x_{ij} \cdot \lambda_j$ . Isso porque uma restrição da elaboração inicial do modelo CCR é a de que os dados necessitam ser números não-negativos, tornando  $x_{ij} \geq 0$ .

Dessa forma, compondo com a primeira restrição, entende-se que o problema traz uma DMU virtual que, para gerar um nível maior ou igual de produtos da DMU analisada, se é consumido no máximo a mesma intensidade de insumos da DMU<sub>0</sub>.

Se  $f_0 < 1$ , então a DMU virtual é capaz de alcançar uma produção no mínimo igual à DMU<sub>0</sub> consumindo apenas uma parte dos insumos, ou seja, a DMU em análise é ineficiente. Já se  $f_0 = 1$ , a DMU analisada é alcançada pela DMU virtual, sendo a primeira, então, eficiente (SÁ, 2016).

Esta formulação supracitada remete à orientação à *inputs*, em que uma DMU ineficiente pode se tornar eficiente mantendo os níveis de produção e reduzindo seus insumos para  $x_{r0} \cdot f_0$  (BECKENKAMP, 2002).

A outra orientação, relativa à *outputs*, tem a formulação apresentada abaixo:

$$\text{Maximizar } z_0 \tag{3.3}$$

Sujeito às condições:

$$-\sum_{j=1}^n y_{rj} \cdot \lambda_j + y_{r0} \cdot z_0 \leq 0; \quad r = 1, \dots, s$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \cdot \lambda_j \leq x_{i0}; \quad i = 1, \dots, m$$

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

De um raciocínio semelhante ao orientado à *inputs*, surge uma DMU virtual cujo *input* é uma combinação linear das DMUs observadas ( $\sum_{j=1}^n x_{ij} \cdot \lambda_j$ ) e cujo *output* também ( $\sum_{j=1}^n y_{rj} \cdot \lambda_j$ ) (SÁ, 2016).

A diferença é que a primeira restrição impõe que o *output* virtual seja maior ou igual ao *input* da DMU<sub>0</sub> e a segunda restrição que o *input* virtual seja menor ou igual ao *input* da Unidade Tomadora de Decisão analisada.

Sendo  $z_0$  uma medida de eficiência que se busca maximizar, seu valor é no mínimo 0. Com  $z_0 > 1$ , tem-se que a DMU formada pela combinação linear das observadas, com insumos no máximo iguais à analisada, é capaz de produzir mais que esta. Por isso, a DMU<sub>0</sub> é ineficiente. Já no caso de  $z_0 = 1$ , a análise dos insumos é igual, entretanto, seus produtos são tão bons quanto à DMU<sub>0</sub>, fazendo desta última, eficiente.

Tanto para orientação à *inputs* quanto para a orientação à *outputs* mostradas, é possível se obter uma análise de *benchmark* para as DMUs ineficientes com base na sua comparação com as DMUs eficientes. Algebricamente, se usa os valores de  $\lambda$  para entender a relação da DMU analisada com as demais observadas nas outras DMUs, sendo que um  $\lambda_j$  igual a zero ilustra que a DMU  $j$  não é *benchmark* para a empresa analisada. Quanto maior o  $\lambda$ , mais referência esta DMU é para a DMU<sub>0</sub> (MELLO *et al.*, 2005).

As formulações até então apresentadas são nomeadas como formulações de Envolvimento. Os próprios autores (CHARNES *et al.*, 1978) sugerem um dual destas formulações, ou seja, formulações equivalentes. O dual recebe a denominação de modelo dos Multiplicadores.

Abaixo, segue a formulação do modelo dos Multiplicadores para a orientação à *outputs*, partindo do problema de programação fracionária presente na equação (3.1):

$$\text{Maximizar } w_0 = \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} \quad (3.4)$$

Sujeito às condições:

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1; \quad i = 1, \dots, m,$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{j=1}^n v_i x_{ij} \leq 0; \quad r = 1, \dots, s; \quad j = 1, \dots, n,$$

$$u_r, v_i \geq 0; \quad r = 1, \dots, s; \quad i = 1, \dots, m.$$

A formulação dos Multiplicadores para a orientação à *inputs*, também é ilustrada a seguir:

$$\text{Minimizar } g_0 = \sum_{i=1}^m v_i x_{i0} \quad (3.5)$$

Sujeito às condições:

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{r0} = 1; \quad r = 1, \dots, s,$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{j=1}^n v_i x_{ij} \leq 0; \quad r = 1, \dots, s; \quad j = 1, \dots, n,$$

$$u_r, v_i \geq 0; \quad r = 1, \dots, s; \quad i = 1, \dots, m.$$

A transformação para este modelo dos Multiplicadores tangibiliza a separação do modelo apresentado na equação (3.1) de forma a manter constante e igual a 1 pelo menos uma das duas partes da função objetivo que representa a eficiência, haja visto a primeira condição de cada uma das formulações das equações (3.4) e (3.5) (SÁ, 2016).

Neste modelo, as variáveis continuam a ser os pesos e a função objetivo continua a ser a maximização da eficiência, seja agora pela maximização do numerador  $\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}$  ou pela minimização do denominador  $\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}$ .

### 3.1.2.2 DEA - Modelo BCC (1984)

O modelo BCC, também advindo das iniciais dos sobrenomes dos seus autores (Rajiv Banker, Abraham Charnes, William Cooper), surgiu para considerar retornos variáveis de escala (BANKER *et al.*, 1984).

O que é apresentado dentro do enunciado do modelo CCR é que, na verdade, existiria

uma proporcionalidade entre a variação dos dados de entrada e a variação dos dados de saída. Em outras palavras, um processo produtivo com retornos de escala constantes.

Entretanto, sabe-se que nem todos os processos produtivos podem ser tomados com essa proporcionalidade entre *inputs* e *outputs*. Para tanto, Banker *et al.* (1984) propõem a criação de variáveis  $u_*$  e  $v_*$  a serem inseridos nas formulações para ilustrarem fatores de escala. Essas variáveis são pertencentes ao conjunto do número dos reais, sendo que quando negativas indicam retornos decrescentes, quando positivas, retornos crescentes e quando nula, retornos constantes, recaindo sobre o modelo CCR (BANKER *et al.*, 1984).

A formulação do problema de programação linear do modelo BCC orientado à *outputs* e seu respectivo dual (modelo dos Multiplicadores) seguem apresentados nas equações (3.6) e (3.7) a seguir.

$$\text{Maximizar } h_0 \tag{3.6}$$

Sujeito às condições:

$$x_{i0} - \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j \geq 0, \quad \forall i$$

$$-h_0 y_{r0} + \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j \geq 0, \quad \forall r$$

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

$$\lambda_j \geq 0, \quad \forall j$$

$$i = 1, \dots, m; \quad r = 1, \dots, s; \quad j = 1, \dots, n.$$

$$\text{Minimizar } \sum_{i=1}^m v_i x_{i0} + v_* \tag{3.7}$$

Sujeito às condições:

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{r0} = 1$$

$$-\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - v_* \leq 0, \quad \forall j$$

$$v_i, u_r \geq 0, v_* \in \mathbb{R}$$

$$i = 1, \dots, m; \quad r = 1, \dots, s; \quad j = 1, \dots, n.$$

O mesmo raciocínio, agora para a orientação à *inputs*, é ilustrado nas equações (3.8) e (3.9).

$$\text{Minimizar } h_0 \tag{3.8}$$

Sujeito às condições:

$$h_0 x_{i0} - \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j \geq 0, \quad \forall i$$

$$-y_{r0} + \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j \geq 0, \quad \forall r$$

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

$$\lambda_j \geq 0, \quad \forall j$$

$$i = 1, \dots, m; \quad r = 1, \dots, s; \quad j = 1, \dots, n.$$

$$\text{Maximizar } \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} + u_* \tag{3.9}$$

Sujeito às condições:

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1$$

$$-\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} + u_* \leq 0, \quad \forall j$$

$$v_i, u_r \geq 0, u_* \in \mathbb{R}$$

$$i = 1, \dots, m; \quad r = 1, \dots, s; \quad j = 1, \dots, n.$$

Para sintetizar as aplicações do modelo DEA em retornos de escala constantes ou variáveis e suas respectivas orientações e modelos, tem-se a Figura 3.2 a seguir.

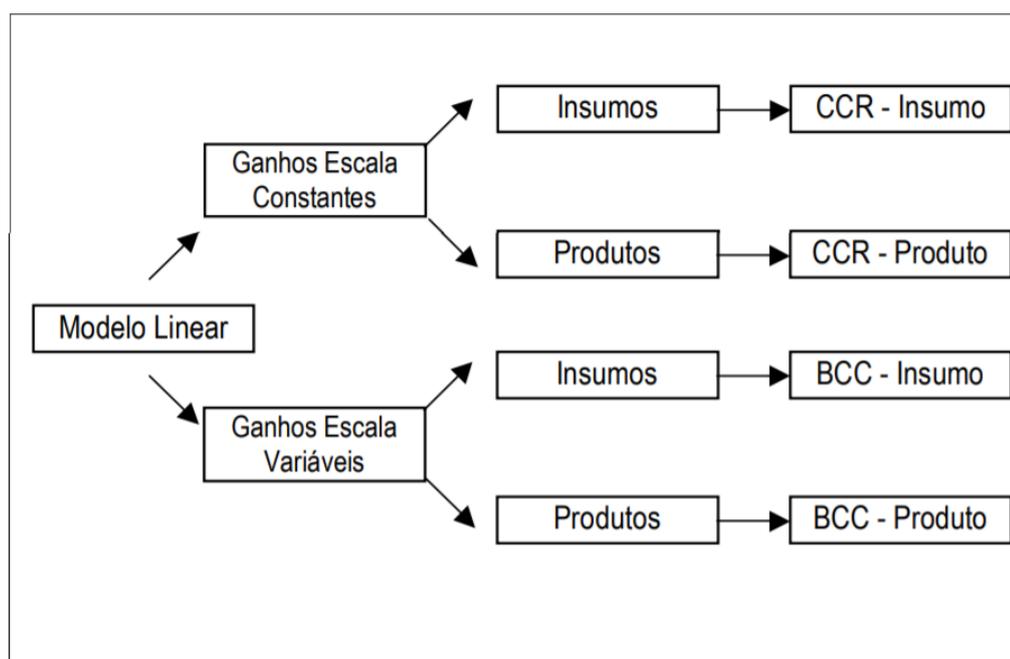


FIGURA 3.2 – Resumo das classificações do modelo DEA.

Fonte: adaptação de (CHARNES *et al.*, 1997).

### 3.1.3 Características do modelo DEA

Segundo (MELLO *et al.*, 2005), (HAIR *et al.*, 1998) e (CHARNES *et al.*, 1978), a Análise Envolvória de Dados pode ser caracterizada em torno do seu principal foco: comparar Unidades Tomadoras de Decisão que possuem processos produtivos similares e diferenciando-se na intensidade de insumos e produtos. Ademais, atinge objetivos como:

- Identificar DMUs eficientes e que fornecem *benchmark* para as ineficientes, que também são identificadas e, ainda mais, localizadas com relação à uma Fronteira de Eficiência formada pelas primeiras;
- Permitir a aplicação para um conjunto diverso de *inputs* e *outputs* para determinação de um coeficiente de eficiência comparativo;
- Não exigir a transformação de insumos e produtos em uma única unidade de medida.

### 3.1.4 Limitações do modelo DEA

Ainda com base em (MELLO *et al.*, 2005), (HAIR *et al.*, 1998) e (CHARNES *et al.*, 1978), o método DEA possui limitações, como as listadas em seguida:

- Exigir a variação de insumos e produtos apenas em intensidade, o que faz com que todos os dados sejam quantitativos e que quaisquer ausências prejudiquem o uso;
- Exigir uma atenção grande às condições de mercado em que estão inseridas as DMUs para que a análise de eficiência seja justa;
- Dificultar uma análise estatística por se tratar de uma técnica não paramétrica;
- Possuir um tempo computacional elevado em alguns casos por conter problemas de programação linear para cada DMU analisada.

## 3.2 Trabalhos científicos anteriores utilizando o DEA

Pela natureza abrangente de análise de Unidades Tomadoras de Decisão, a literatura traz uma série de aplicações do modelo DEA em diferentes contextos de mercado produtivo e, também, no contexto educacional. Para ilustrar tais aplicações, são apresentados três trabalhos científicos. Um deles no contexto de logística refrigerada, um no contexto educacional e outro no contexto do transporte aéreo.

### 3.2.1 DEA no contexto da logística refrigerada

Devido a um forte período de crescimento e desenvolvimento econômico do Brasil nas últimas décadas, principalmente relativos à camada social da classe média, o perfil de consumo alimentício dos brasileiros passou por mudanças (RIBEIRO, 2015). A alimentação fora do lar cresceu e, com esta, também setores relativos ao suporte do mercado de alimentos, como a da logística refrigerada.

Em (RIBEIRO, 2015), analisou-se as oportunidades de melhoria de eficiência em cinco armazéns do setor por meio de *inputs* físicos e operacionais, tais quais as suas áreas, posicionamento de *pallets*, contagem de câmaras específicas e quantidade de funcionários e *outputs* basicamente financeiros de faturamento e resultado operacional (LAJIDA - Lucros Antes de Juros, Impostos, Depreciação e Amortização).

Traçando a fronteira de eficiência, a análise obtida concluiu que um destes armazéns trazia uma maior relação de faturamento por metro quadrado e que seria este o mais indicado para um detalhamento das decisões e processos operacionais com o objetivo de servir de *benchmark* para os demais.

### 3.2.2 DEA no contexto educacional do ensino superior

Em (SÁ, 2016), o modelo DEA é utilizado para avaliar sua aplicação na avaliação de cursos de graduação no Brasil. Em específico, trata-se de cursos de Engenharia de Produção brasileiros e seus respectivos resultados no ano de 2014.

A análise da eficiência utilizou 9 *inputs* e 3 *outputs*. Dentre os insumos, destaca-se a presença de um indicador de infraestrutura sendo relacionado também com produtos como o desempenho (referenciado pela nota no ENADE).

A autora concluiu que o método é comparável aos métodos governamentais para classificação dos cursos de graduação com a vantagem de oferecer formas dos cursos melhorarem sua qualidade comparando-se à outras instituições de ensino que o oferecem (SÁ, 2016).

### 3.2.3 DEA no contexto do transporte aéreo

Em um recorte anual do transporte aéreo entre os anos de 1985 e 1995, (RAI, 2013) aplica a Análise Envoltória de Dados para determinar a Eficiência Técnica de cada companhia aérea em cada ano. Dessa forma, evidencia os portfólios eficientes e ineficientes.

Rai determina como insumos das DMUs o respectivo número de aeronaves, o número de funcionários e a quantidade de combustível consumida para resultar na receita obtida por passageiro por milhas, o número de partidas de voos e a tonelada-milha bruta disponível.

Com a análise baseada no modelo CCR orientado à *outputs*, (RAI, 2013) obtém que as companhias eficientes possuem, em média, 23% de margem anual superior às ineficientes com relação aos produtos brutos.

## 4 Aplicação, Resultados e Discussão

Para entender a eficiência dos investimentos em infraestrutura escolar com base em resultados ligados à qualidade de educação, se utiliza a Análise Envoltória de Dados como forma de ter comparabilidade entre Unidades Tomadoras de Decisão de mesmo nicho.

Este capítulo traz o detalhamento dos *inputs* e *outputs* a serem utilizados no método DEA, bem como a preparação de cada uma dessas categorias com base nas bases de dados citadas no Capítulo 2. Fora isso, se evidencia e justifica o modelo escolhido e também o comportamento referente aos retornos de escala.

### 4.1 Caracterização das Unidades Tomadoras de Decisão

As DMUs escolhidas para o estudo foram as escolas municipais do município de São José dos Campos que contemplavam a etapa do Ensino Fundamental.

O primeiro filtro realizado é relativo à base do Censo Escolar de 2017. Com este filtro, encontra-se 143 escolas. Cada escola recebe um código de identificação do Inep de forma que consiga ser encontrada também na base do Saeb (NOLETO *et al.*, 2019). Entretanto, algumas destas recebem um código máscara no Saeb por solicitação para não divulgação dos resultados ou até por não terem tido uma taxa de participação dos alunos superior ou igual a 50%.

Dessa forma, com a validação cruzada da base do Censo com a base do Saeb, restam apenas 45 escolas aptas para a análise. Destas 45, três contemplam apenas a etapa do Ensino Fundamental Anos Iniciais (Ensino Fundamental I) e, por isso, são também excluídas da base de aplicação do modelo.

Por conseguinte, 42 Unidades Tomadoras de Decisão são escolhidas para análise de eficiência em investimentos em infraestrutura relativas à qualidade de educação entregue. Neste estudo, os nomes das instituições de ensino são omitidos por questões de exposição e, por isso, são referenciadas por números indicadores.

## 4.2 Caracterização dos insumos e produtos das DMUs

### 4.2.1 Os *inputs*

Os *inputs* das DMUs são considerados com base nos indicadores propostos no estudo de (NOLETO *et al.*, 2019). Dos 11 indicadores apresentados neste estudo, apenas o indicador relativo à "Ambiente para atendimento especializado" não é considerado, uma vez que continha não necessariamente itens de infraestrutura, mas sim de ensino dentro da instituição. Fora isso, dentro do indicador de "Acessibilidade" não é considerada a variável de "Infraestrutura adequada à pessoas com deficiência" do Saeb. Isso porque não foi encontrada na base essa resposta para nenhuma das instituições estudadas, possivelmente por algum erro de aplicação da avaliação.

Todos os insumos considerados podem ser vistos na Tabela 4.1 a seguir.

TABELA 4.1 – *Inputs* escolhidos para o DEA

<i>Inputs</i>	
1	Acesso a serviços
2	Instalações do prédio
3	Ambiente prazeroso
4	Espaços pedagógicos
5	Equipamentos para apoio administrativo
6	Acessibilidade
7	Equipamentos para apoio pedagógico
8	Conservação
9	Conforto
10	Prevenção de danos

Para cada um dos indicadores, utiliza-se um método para relacionar as variáveis presentes em cada indicador de (NOLETO *et al.*, 2019) e determinar, assim, um valor para cada indicador.

O método envolve o princípio de cálculo do Índice de Infraestrutura Escolar presente em (VASCONCELOS *et al.*, 2019). Este considera a natureza binária ou categórica de cada variável e determina que o indicador pode ser determinado pela razão entre o escore da variável e o escore máximo que poderia ser obtido. Os escores por sua vez variam de 0 a 1 para as variáveis binárias e de 0 à categoria máxima para as categóricas.

Quanto às variáveis expressas por quantidades nas bases, como os computadores ou impressoras, utilizou-se uma transformada em variável categórica assim como em (NOLETO *et al.*, 2019).

Um exemplo que ilustra a metodologia segue abaixo, aplicado no indicador de acesso à serviços.

TABELA 4.2 – Indicador, variáveis e respectivas categorias com escores.  
 Fonte: adaptada de (NOLETO *et al.*, 2019)

Indicador	Variáveis	Categorias
Acesso à serviços	Água	0 - Inexistente
		1 - Fonte/Rio/Cacimba
		2 - Poço artesiano
		3 - Rede pública
Energia	0 - Inexistente	
	1 - Outros/Gerador	
	2 - Rede pública	
Esgoto	0 - Inexistente	
	1 - Fossa	
	2 - Rede pública	
Lixo	0 - Outro/Queima/Enterra	
	1 - Coleta periódica	

Os demais detalhamentos dos escores das categorias das variáveis podem ser encontrados no apêndice A.

Para uma DMU exemplo conforme a Tabela B.1, suponha-se água advinda de poço artesiano, energia de gerador, esgoto de fossa e lixo por queima. O resultado seria então de um escore de 4 em um universo de 8. Tendo, então, o indicador um valor de 0,5.

Por último, para aplicação no DEA, esses *inputs* calculados conforme metodologia referenciada acima, crescem conforme melhor a escola é com relação aos indicadores de infraestrutura. Como o DEA pressupõe que estes são isotônicos, ou seja, quanto menor o valor do *input* maior sua eficiência, adotou-se como insumo um menos o escore do indicador encontrado (JUBRAN, 2006).

#### 4.2.2 Os outputs

Os *outputs* para utilização no método têm como base as definições de qualidade, permeadas no segundo capítulo.

O primeiro produto do serviço das DMUs relacionadas aos insumos de infraestrutura é o de quantidade de matrículas. Dessa forma, conforme maior o número de alunos registrados na DMU, mais eficiente essa seria. Esse é um ponto interessante, tanto pelo objetivo

de qualidade relacionada à universalização do ensino quanto pelo fato de servir de modelo de referência para instituições privadas, haja vista que seu objetivo de maximização do lucro permeia o aumento eficiente do número de matrículas.

O segundo produto analisado se remete ao desempenho em avaliações gerais. Também tratado como um elemento histórico dentro da definição de qualidade de educação, os resultados do Sistema de Avaliação da Educação Básica são considerados como produtos para o modelo de eficiência a ser utilizado na Análise Envoltória de Dados.

Os dados da avaliação do Saeb estão disponíveis na base de forma a se ter a média da instituição em Língua Portuguesa e em Matemática para cada uma das séries de final de ciclo (5º Ano para o Ensino Fundamental I e 9º para o Ensino Fundamental II).

Para a utilização no modelo, é utilizada uma média aritmética de Língua Portuguesa e Matemática para o 5º Ano e uma média aritmética para ambas dentro do universo do 9º Ano. Após isso, é feita uma média aritmética com os resultados do 5º Ano e 9º Ano de forma a se obter um único resultado para a instituição analisada.

Em suma, os outputs utilizados são ilustrados na Tabela 4.3 a seguir.

TABELA 4.3 – *Outputs* escolhidos para o DEA

<i>Outputs</i>	
1	Média do Sistema de Avaliação da Educação Básica
2	Número de matrículas registradas

### 4.3 Caracterização do modelo DEA escolhido

Definidas as variáveis de entrada e saída, torna-se necessário decidir o modelo utilizado. Como não existe necessariamente uma correlação proporcional entre os insumos de infraestrutura com os produtos de qualidade de educação, se utiliza a abordagem para retornos de escala variáveis. Para tanto, o modelo BCC é escolhido para expressar a eficiência das DMUs.

Além disso, é necessário definir a orientação entre insumos ou produtos. Como as variáveis dos insumos são expressas em itens de infraestrutura existentes ou não e suas categorias de quantidade em alguns casos, não haveria sentido em minimizar esses insumos em prol de uma maior eficiência. Dessa forma, o modelo escolhido tangibilizou o proposto por Banker, Charnes e Cooper (BCC) orientado à *outputs*.

## 4.4 Caracterização das escolas municipais - DMUs

A operação infraestrutural de escolas que está sendo verificada conforme eficiência pelo DEA é a de 42 escolas municipais de São José dos Campos. As escolas, conforme mencionado, estão sendo nomeadas por um índice numérico de 1 a 42 para manutenção do anonimato. Suas variáveis de entrada e saída estão mostradas nas Tabelas 4.4 e 4.5.

TABELA 4.4 – Variáveis de entrada do DEA - parte 1

Decision Making Unit	<i>Inputs</i>				
	Acesso a serviços	Instalações do prédio	Ambiente Prazeroso	Espaços pedagógicos	Equipamentos para apoio administrativo
DMU <sub>1</sub>	0	0,2	0,6	0,4	0,25
DMU <sub>2</sub>	0	0,3	0,8	0,47	0,13
DMU <sub>3</sub>	0	0,3	0,4	0,4	0,06
DMU <sub>4</sub>	0	0,4	0,8	0,4	0,13
DMU <sub>5</sub>	0	0,2	0,6	0,47	0,19
DMU <sub>6</sub>	0	0,3	0,6	0,4	0,5
DMU <sub>7</sub>	0	0,2	0,6	0,4	0,38
DMU <sub>8</sub>	0	0,3	0,6	0,87	0,5
DMU <sub>9</sub>	0,13	0,6	1	1	0,81
DMU <sub>10</sub>	0	0	0,6	0,4	0,25
DMU <sub>11</sub>	0	0,3	0,8	0,4	0,19
DMU <sub>12</sub>	0	0,2	0,4	0,8	0,44
DMU <sub>13</sub>	0	0,4	0,4	0,4	0,13
DMU <sub>14</sub>	0	0,2	0,6	0,4	0,31
DMU <sub>15</sub>	0	0,3	0,8	0,53	0,19
DMU <sub>16</sub>	0	0,2	0,8	0,4	0,38
DMU <sub>17</sub>	0	0,3	0,4	0,47	0,38
DMU <sub>18</sub>	0	0,3	0,8	0,47	0,19
DMU <sub>19</sub>	0	0,1	0,6	0,4	0,19
DMU <sub>20</sub>	0	0,3	0,8	0,47	0,31
DMU <sub>21</sub>	0	0,2	0,8	0,47	0,31
DMU <sub>22</sub>	0	0,4	0,4	0,33	0,44
DMU <sub>23</sub>	0	0,3	0,6	0,47	0,19
DMU <sub>24</sub>	0	0,3	1	0,53	0,31
DMU <sub>25</sub>	0	0	0,6	0,4	0,44
DMU <sub>26</sub>	0	0,3	0,6	0,47	0,56
DMU <sub>27</sub>	0	0,3	0,4	0,4	0,38
DMU <sub>28</sub>	0	0	0,6	0,27	0,31
DMU <sub>29</sub>	0	0	0,4	0,4	0,13
DMU <sub>30</sub>	0	0,3	0,6	0,47	0,31
DMU <sub>31</sub>	0	0,2	0,6	0,33	0,19
DMU <sub>32</sub>	0	0,3	0,6	0,47	0,31
DMU <sub>33</sub>	0	0,2	0,6	0,27	0,44
DMU <sub>34</sub>	0	0	0,6	0,4	0,19
DMU <sub>35</sub>	0	0,2	0,6	0,47	0,13
DMU <sub>36</sub>	0	0,3	0,6	0,47	0,31
DMU <sub>37</sub>	0	0,2	0,8	0,47	0,13
DMU <sub>38</sub>	0	0,3	0,6	0,47	0,44
DMU <sub>39</sub>	0	0	0,6	0,47	0,19
DMU <sub>40</sub>	0	0,2	0,8	0,4	0,31
DMU <sub>41</sub>	0	0,3	0,8	0,4	0,13
DMU <sub>42</sub>	0	0	0,4	0,4	0,31

TABELA 4.5 – Variáveis de entrada - parte 2 - e variáveis de saída do DEA

Decision Making Unit	<i>Inputs</i>					<i>Outputs</i>	
	Accessibilidade	Equipamentos para apoio pedagógico	Conservação	Conforto	Prevenção de danos	Média Saeb	Número de alunos
$DMU_1$	0,5	0,06	0,15	0,56	0,38	237,10	1207
$DMU_2$	0,5	0,06	0,03	0,22	0	260,33	1126
$DMU_3$	0,5	0,19	0	0,22	0,5	266,03	1280
$DMU_4$	1	0	0,15	0,22	0	269,33	1113
$DMU_5$	0,5	0,25	0	0,22	0	262,42	1122
$DMU_6$	1	0,19	0	0,22	0	248,05	1312
$DMU_7$	0,5	0,13	0	0,44	0	264,34	854
$DMU_8$	0,5	0,94	0,05	0,22	0,38	216,31	410
$DMU_9$	1	0,44	0	0,22	0,25	216,94	1118
$DMU_{10}$	0,5	0,13	0	0,11	0,38	236,87	1499
$DMU_{11}$	0,5	0,06	0,15	0,11	0	264,82	724
$DMU_{12}$	0,5	0,63	0,21	0,33	0,5	248,21	619
$DMU_{13}$	0,5	0,19	0	0,67	0	271,66	1131
$DMU_{14}$	0,5	0,19	0	0,11	0	278,78	1138
$DMU_{15}$	0,5	0,5	0	0,22	0	256,75	849
$DMU_{16}$	1	0,13	0	0,22	0,25	292,42	1140
$DMU_{17}$	0,5	0,31	0,03	0,22	0	270,63	741
$DMU_{18}$	1	0,06	0	0,22	0	258,76	1105
$DMU_{19}$	0,5	0,44	0	0,44	0	258,95	804
$DMU_{20}$	0,5	0,44	0,08	0,22	0	275,08	984
$DMU_{21}$	1	0,06	0,03	0,22	0	243,73	1347
$DMU_{22}$	0,5	0,19	0	0,22	0,13	239,05	985
$DMU_{23}$	1	0,13	0,05	0,22	0,13	283,40	897
$DMU_{24}$	0,5	0	0	0,22	0	251,50	893
$DMU_{25}$	1	0,44	0,05	0,11	0,13	253,75	586
$DMU_{26}$	0,5	0	0,51	0,22	0,13	247,49	1137
$DMU_{27}$	1	0,44	0	0,22	0	276,22	1213
$DMU_{28}$	0,5	0,06	0,05	0,22	0	250,23	808
$DMU_{29}$	1	0,13	0	0,22	0	234,88	1256
$DMU_{30}$	0,5	0,06	0	0,22	0,13	267,72	1310
$DMU_{31}$	0,5	0,25	0,1	0,22	0	255,33	884
$DMU_{32}$	0,5	0,38	0,1	0,33	0	281,42	1073
$DMU_{33}$	0,5	0,19	0,23	0,33	0,63	243,77	1199
$DMU_{34}$	0,5	0,19	0	0,22	0	258,19	851
$DMU_{35}$	0,5	0	0	0,11	0	251,69	1121
$DMU_{36}$	0,5	0,38	0	0,11	0	278,97	973
$DMU_{37}$	0,5	0,19	0	0,22	0	278,43	994
$DMU_{38}$	1	0,38	0	0,22	0,13	249,78	1036
$DMU_{39}$	0,5	0,13	0	0,22	0	267,33	1208
$DMU_{40}$	1	0	0,03	0,11	0	267,38	935
$DMU_{41}$	0,5	0,13	0,31	0,67	0,13	259,66	1149
$DMU_{42}$	1	0,31	0,08	0,44	0,25	279,90	879

## 4.5 Aplicação do modelo DEA BCC orientado à *outputs*

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos quando se busca a maximização de eficiência para as instituições de ensino fundamental supracitadas. A ferramenta utilizada teve como base o modelo de envelopamento para o DEA BCC-o com utilização do Solver do MS Excel.

Com a análise, as DMUs 5, 8, 9, 15, 18, 19, 20 e 38 são tidas como ineficientes segundo o modelo BCC orientado à *outputs*. Para avaliação dos seus pares referência para a eficiência, são analisadas aquelas DMUs eficientes que possuem os maiores  $\lambda_j$ , conforme (MELLO *et al.*, 2005) para *benchmark*.

#### 4.5.1 Escola Municipal - $DMU_5$

Fazendo uma análise específica para a  $DMU_5$ , percebe-se que as DMUs 13, 14, 35, 37 e 39 são aquelas que possuem uma eficiência de 100% e possuem um  $\lambda_j$  significativo para referência como *benchmark*, conforme ilustrado na Tabela 4.6.

Em específico, tem-se a de maior intensidade de  $\lambda$  a  $DMU_{38}$ . Analisando os produtos, percebe-se um aumento na média de avaliação do Saeb bem como um aumento no número de alunos possível para se atingir a eficiência, mantendo-se os insumos.

Por uma perspectiva, de investimentos nos indicadores de infraestrutura escolar, pode-se notar que algumas decisões pautadas em melhoras dos *inputs* 2 e 7, respectivamente instalações do prédio e equipamentos para apoio pedagógico poderiam servir de base para obtenção de melhores resultados.

TABELA 4.6 – Eficiências obtidas pelo algoritmo DEA e as respectivas DMUs benchmark para a escola municipal  $DMU_5$

DMUs	$Input_1$	$Input_2$	$Input_3$	$Input_4$	$Input_5$	$Input_6$	$Input_7$	$Input_8$	$Input_9$	$Input_{10}$	$Output_1$	$Output_2$	$\lambda_j$	Eficiência
$DMU_5$	0	0,2	0,6	0,47	0,19	0,5	0,25	0	0,22	0	262,42	1122	0	97,92%
$DMU_{13}$	0	0,4	0,4	0,4	0,13	0,5	0,19	0	0,67	0	271,66	1131	0,10155	100,00%
$DMU_{14}$	0	0,2	0,6	0,4	0,31	0,5	0,19	0	0,11	0	278,78	1138	0,20617	100,00%
$DMU_{35}$	0	0,2	0,6	0,47	0,13	0,5	0	0	0,11	0	251,69	1121	0,20925	100,00%
$DMU_{37}$	0	0,2	0,8	0,47	0,13	0,5	0,19	0	0,22	0	278,43	994	0,10155	100,00%
$DMU_{39}$	0	0	0,6	0,47	0,19	0,5	0,13	0	0,22	0	267,33	1208	0,38149	100,00%

#### 4.5.2 Escola Municipal - $DMU_8$

Em uma análise da  $DMU_8$ , conforme mostra a Tabela 4.7, tem-se como benchmark as DMUs 13, 14, 17, 32 e 36. Levando em consideração a intensidade do fator  $\lambda$ , as DMUs 32 e 36 merecem destaque para a melhoria de eficiência da escola analisada.

Ambas as referências mostram produtos agressivamente superiores, dada que a eficiência da DMU analisada é bem aquém, de apenas 77,19%. Numa ótica de insumos infraestruturais, destaca-se, principalmente, os *inputs* de espaços pedagógicos (indicador 4) e o de prevenção de danos (indicador 10).

Dada a análise, percebe-se que investimentos nesses dois sentidos poderiam levar à melhores resultados para a escola.

TABELA 4.7 – Eficiências obtidas pelo algoritmo DEA e as respectivas DMUs benchmark para a escola municipal  $DMU_8$ 

DMUs	$Input_1$	$Input_2$	$Input_3$	$Input_4$	$Input_5$	$Input_6$	$Input_7$	$Input_8$	$Input_9$	$Input_{10}$	$Output_1$	$Output_2$	$\lambda_j$	Eficiência
$DMU_8$	0	0,3	0,6	0,87	0,5	0,5	0,94	0,05	0,22	0,38	216,31	410	0	77,19%
$DMU_{13}$	0	0,4	0,4	0,4	0,13	0,5	0,19	0	0,67	0	271,66	1131	9,1E-16	100,00%
$DMU_{14}$	0	0,2	0,6	0,4	0,31	0,5	0,19	0	0,11	0	278,78	1138	2,9E-15	100,00%
$DMU_{17}$	0	0,3	0,4	0,47	0,38	0,5	0,31	0,03	0,22	0	270,63	741	1,9E-16	100,00%
$DMU_{32}$	0	0,3	0,6	0,47	0,31	0,5	0,38	0,1	0,33	0	281,42	1073	0,5	100,00%
$DMU_{36}$	0	0,3	0,6	0,47	0,31	0,5	0,38	0	0,11	0	278,97	973	0,5	100,00%

### 4.5.3 Escola Municipal - $DMU_9$

A  $DMU_9$ , após a análise pelo método DEA, obteve uma eficiência de 82,94%. Como referência, destaca-se as DMUs 10 e 30, sendo esta última a de maior intensidade do fator  $\lambda$ . Estes resultados seguem ilustrados na Tabela 4.8.

A  $DMU_{30}$  apresenta produtos significativamente maiores para a avaliação do Saeb e um aumento de aproximadamente 20% no número de matrículas, de forma a potencializar a eficiência da escola 9.

Analisando os investimentos em infraestrutura, destaca-se o insumo 1 como um dos mais básicos para as escolas e que a DMU 9 peca em oferecer, sendo um ótimo ponto de partida para investimento. Esta ainda conta com os insumos 3, 4 e 6 dentre os piores indicadores conforme comparativo, indicando ser latente o olhar para busca de mais investimento e melhores decisões dentro da instituição.

TABELA 4.8 – Eficiências obtidas pelo algoritmo DEA e as respectivas DMUs benchmark para a escola municipal  $DMU_9$ 

DMUs	$Input_1$	$Input_2$	$Input_3$	$Input_4$	$Input_5$	$Input_6$	$Input_7$	$Input_8$	$Input_9$	$Input_{10}$	$Output_1$	$Output_2$	$\lambda_j$	Eficiência
$DMU_9$	0,13	0,6	1	1	0,81	1	0,44	0	0,22	0,25	216,94	1118	0	82,94%
$DMU_{10}$	0	0	0,6	0,4	0,25	0,5	0,13	0	0,11	0,38	236,87	1499	0,200	100,00%
$DMU_{30}$	0	0,3	0,6	0,47	0,31	0,5	0,06	0	0,22	0,13	267,72	1310	0,799	100,00%

### 4.5.4 Escola Municipal - $DMU_{15}$

A  $DMU_{15}$  obteve uma eficiência de 92,16% após a análise, conforme Tabela 4.9. Destaca-se para tal a busca de eficiência por meio das DMUs 36 e 37, sendo a segunda a de maior intensidade do fator  $\lambda$ .

Percebe-se deste destaque um melhor balanceamento entre a média de notas do Saeb e a quantidade de matrículas abarcadas pela instituição. Fora isso, percebe-se o insumo 7, de equipamentos para apoio pedagógico, o mais destoante em perspectivas de investimentos infraestruturais. O insumo 5, também referenciando equipamentos, mas agora no âmbito

administrativo, também se mostra destoante, significando talvez uma boa linha inicial de decisão.

TABELA 4.9 – Eficiências obtidas pelo algoritmo DEA e as respectivas DMUs benchmark para a escola municipal  $DMU_{15}$

DMUs	$Input_1$	$Input_2$	$Input_3$	$Input_4$	$Input_5$	$Input_6$	$Input_7$	$Input_8$	$Input_9$	$Input_{10}$	$Output_1$	$Output_2$	$\lambda_j$	Eficiência
$DMU_{15}$	0	0,3	0,8	0,53	0,19	0,5	0,5	0	0,22	0	256,75	849	0	92,16%
$DMU_{36}$	0	0,3	0,6	0,47	0,31	0,5	0,38	0	0,11	0	278,97	973	0,337	100,00%
$DMU_{37}$	0	0,2	0,8	0,47	0,13	0,5	0,19	0	0,22	0	278,43	994	0,667	100,00%

#### 4.5.5 Escola Municipal - $DMU_{18}$

A  $DMU_{18}$  se apresentou como uma instituição quase eficiente, 99,43%. Isso se mostra até mesmo pelo fato de possuir uma nota no Saeb até maior que a DMU 35, tida como a maior referência para ela dado o seu  $\lambda_j$  maior, conforme mostra a Tabela 4.10.

O contraponto de eficiência desta DMU se dá, principalmente, para uma melhora de eficiência de forma a aumentar o número de alunos matriculados. O que parece fazer sentido, haja vista um insumo destoante relativo à acessibilidade de alunos com necessidades especiais (insumo 6) e a necessidade de manutenção do que já se tem e pode estar causando uma menor aceitação de matrículas pelo insumo número 9, de conforto.

TABELA 4.10 – Eficiências obtidas pelo algoritmo DEA e as respectivas DMUs benchmark para a escola municipal  $DMU_{18}$

DMUs	$Input_1$	$Input_2$	$Input_3$	$Input_4$	$Input_5$	$Input_6$	$Input_7$	$Input_8$	$Input_9$	$Input_{10}$	$Output_1$	$Output_2$	$\lambda_j$	Eficiência
$DMU_{18}$	0	0,3	0,8	0,47	0,19	1	0,06	0	0,22	0	258,76	1105	0	99,43%
$DMU_{14}$	0	0,2	0,6	0,4	0,31	0,5	0,19	0	0,11	0	278,78	1138	0,285	100,00%
$DMU_{24}$	0	0,3	1	0,53	0,31	0,5	0	0	0,22	0	251,50	893	0,047	100,00%
$DMU_{35}$	0	0,2	0,6	0,47	0,13	0,5	0	0	0,11	0	251,69	1121	0,636	100,00%
$DMU_{37}$	0	0,2	0,8	0,47	0,13	0,5	0,19	0	0,22	0	278,43	994	0,029	100,00%

#### 4.5.6 Escola Municipal - $DMU_{19}$

Após a análise da  $DMU_{19}$ , obteve-se como referência para aumentar a eficiência encontrada de 98,48%, as DMUs 28,34 e 37, sendo que a 34 seria a única de fato significativa para comparação e melhora da tomada de decisão, conforme mostra a Tabela 4.11.

Assim como acontece na  $DMU_{18}$ , percebe-se até uma diminuição na nota do Saeb em detrimento de um aumento no produto relativo ao número de matrículas. E, assim como se percebe na  $DMU_{18}$ , o indicador destoante para aumento nesse número de alunos segue, praticamente, sendo o indicador número 9, de conforto das instalações na percepção de alunos.

TABELA 4.11 – Eficiências obtidas pelo algoritmo DEA e as respectivas DMUs benchmark para a escola municipal  $DMU_{19}$ 

DMUs	$Input_1$	$Input_2$	$Input_3$	$Input_4$	$Input_5$	$Input_6$	$Input_7$	$Input_8$	$Input_9$	$Input_{10}$	$Output_1$	$Output_2$	$\lambda_j$	Eficiência
$DMU_{19}$	0	0,1	0,6	0,4	0,19	0,5	0,44	0	0,44	0	258,95	804	0	98,48%
$DMU_{28}$	0	0	0,6	0,27	0,31	0,5	0,06	0,05	0,22	0	250,23	808	4,00E-18	100,00%
$DMU_{34}$	0	0	0,6	0,4	0,19	0,5	0,19	0	0,22	0	258,19	851	0,7	100,00%
$DMU_{37}$	0	0,2	0,8	0,47	0,13	0,5	0,19	0	0,22	0	278,43	994	4,80E-16	100,00%

### 4.5.7 Escola Municipal - $DMU_{20}$

Segundo a Tabela 4.12, obtida após a análise, a  $DMU_{20}$  obteve uma eficiência de 98,17%. Destaca-se pela mesma Tabela, as DMUs 37 e 38 como detentoras dos maiores fatores  $\lambda$ , significando serem a referência para busca de eficiência.

É interessante notar que para a  $DMU_{38}$  existe uma diminuição no número de alunos matriculados, mas uma obtenção de maior média na avaliação do Saeb. O que pode estar relacionado com os insumos de equipamentos pedagógicos relativamente mais disponíveis nesta em detrimento à 20 e também ao insumo 9, de conforto dos alunos.

A comparação com a  $DMU_{37}$  traz aumentos tanto na média da avaliação quanto no número de alunos e destaca-se, principalmente, o insumo 3 de ambiente prazeroso como busca de melhor decisão de investimento.

TABELA 4.12 – Eficiências obtidas pelo algoritmo DEA e as respectivas DMUs benchmark para a escola municipal  $DMU_{20}$ 

DMUs	$Input_1$	$Input_2$	$Input_3$	$Input_4$	$Input_5$	$Input_6$	$Input_7$	$Input_8$	$Input_9$	$Input_{10}$	$Output_1$	$Output_2$	$\lambda_j$	Eficiência
$DMU_{20}$	0	0,3	0,8	0,47	0,31	0,5	0,44	0,08	0,22	0	275,08	984	0	98,17%
$DMU_{14}$	0	0,2	0,6	0,4	0,31	0,5	0,19	0	0,11	0	278,78	1138	3,00E-29	100,00%
$DMU_{16}$	0	0,2	0,8	0,4	0,38	1	0,13	0	0,22	0,25	292,42	1140	1,20E-15	100,00%
$DMU_{32}$	0	0,3	0,6	0,47	0,31	0,5	0,38	0,1	0,33	0	281,42	1073	0,5	100,00%
$DMU_{36}$	0	0,3	0,6	0,47	0,31	0,5	0,38	0	0,11	0	278,97	973	0,5	100,00%
$DMU_{37}$	0	0,2	0,8	0,47	0,13	0,5	0,19	0	0,22	0	278,43	994	1,70E-15	100,00%

### 4.5.8 Escola Municipal - $DMU_{38}$

A análise da  $DMU_{38}$  a traz como instituição ineficiente nos produtos da avaliação geral e do número de matrículas. Para referência, tem-se as DMUs 16, 27 e 30, sendo que apenas as duas primeiras são significativas para melhor tomada de decisão, conforme os valores da Tabela 4.13.

A  $DMU_{16}$  apresenta um aumento significativo na nota da avaliação e, quando comparada em relação aos investimentos em infraestrutura, mostra seguir o insumo significativo para esse produto que é o de número 7, sobre equipamentos pedagógicos. A  $DMU_{27}$ , que apresenta produtos maiores, principalmente, no número de matrículas, traz indica-

dores mais prediais como referência de descompasso, dada a diferença nos de número 3 (ambiente prazeroso) e número 10 (prevenção de danos).

TABELA 4.13 – Eficiências obtidas pelo algoritmo DEA e as respectivas DMUs benchmark para a escola municipal  $DMU_{38}$

DMUs	$Input_1$	$Input_2$	$Input_3$	$Input_4$	$Input_5$	$Input_6$	$Input_7$	$Input_8$	$Input_9$	$Input_{10}$	$Output_1$	$Output_2$	$\lambda_j$	Eficiência
$DMU_{38}$	0	0,3	0,6	0,47	0,44	1	0,38	0	0,22	0,13	249,78	1036	0	87,92%
$DMU_{16}$	0	0,2	0,8	0,4	0,38	1	0,13	0	0,22	0,25	292,42	1140	0,493	100,00%
$DMU_{27}$	0	0,3	0,4	0,4	0,38	1	0,44	0	0,22	0	276,22	1213	0,493	100,00%
$DMU_{30}$	0	0,3	0,6	0,47	0,31	0,5	0,06	0	0,22	0,13	267,72	1310	0,013	100,00%

## 4.6 Considerações finais

O método da Análise Envoltória de Dados compara unidades produtivas de atividade semelhante, estabelecendo uma análise que permite entender fatores relevantes para obtenção de mais eficiência e balizamento de metas de forma a ponderar melhores decisões.

É importante salientar que as análises aqui estabelecidas estão condicionadas aos insumos escolhidos para análise e intimamente ligado às DMUs que estão nessa análise. A mudança desses insumos, bem como dessas instituições alteram completamente o resultado.

Dessa forma, haja visto o fato de ser uma técnica não-paramétrica, não permite uma extrapolação para outros casos de outros municípios e até mesmo para uma alteração das escolas municipais de São José dos Campos. Dentro dessas, entretanto, se tem uma inferência viável de eficiência e benchmark umas para as outras.

Um outro contraponto é de que uma análise mais precisa dos investimentos pode ser feita por meio do entendimento *in loco* das instituições tanto ineficientes quanto suas respectivas referências de *benchmark*. A análise aqui mostrada leva em consideração apenas os indicadores conforme os dados coletados, entretanto, já podem evidenciar DMUs que necessitam latentemente de investimentos por parte do município.

## 5 Conclusões

Os objetivos centrais desse trabalho são de entender melhor as variáveis de infraestrutura escolar, bem como o estabelecimento de indicadores e dimensões em que estariam estas inseridas e também de clarificar as oportunidades de melhoria de eficiência em decisões de investimento por escolas municipais do ensino fundamental de São José dos Campos.

A atenção a fatores que possam servir de base para melhoria da infraestrutura tem o foco em aumentar indicadores de qualidade de educação estabelecidos ao longo da história educacional do Brasil. Isso se mostra relevante pelo mercado da educação básica estar evidenciado como um setor em crescimento e que pode sofrer com diminuição da qualidade de ensino conforme cresce, assim como aconteceu na educação superior.

Para entender como algumas instituições de ensino fundamental municipais de São José dos Campos poderiam ser mais eficientes em suas decisões de infraestrutura, utilizou-se o método da Análise Envoltória de Dados para retornos variáveis de escala orientado aos produtos de qualidade de educação, avaliação do Sistema de Avaliação da Educação Básica (Saeb) e número de matrículas.

Com a análise, percebeu-se que alguns dos indicadores de infraestrutura escolar poderiam passar por investimentos de forma a tornar a avaliação do Saeb mais proveitosa e também culminar em uma expansão da quantidade de alunos abarcados por certas instituições de ensino ineficientes.

Fora isso, foi possível perceber um certo padrão relacionado ao aumento do número de alunos com a potencialização dos indicadores específicos de infraestrutura como o de Conforto na percepção dos estudantes, professores e gestão. Além deste, agora em destaque para aumentos nas médias da avaliação do Saeb, percebe-se uma correlação maior com os investimentos em equipamentos pedagógicos. O que faz sentido de um ponto de vista cotidiano da educação.

Vale salientar que essas características do modelo e análise não podem ser tomadas como verdade para uma eficiência de todas as Unidades Tomadoras de Decisão de atividade produtiva semelhante, haja vista as restrições deste método não-paramétrico e comparativo.

Por fim, vale ressaltar que, até mesmo para uma análise mais fiel dos indicadores e suas referências, entrar no detalhe das operações dessas instituições ineficientes bem como suas referências seria a melhor forma de, de fato, culminar em um *benchmark* mais efetivo e em melhores balizadores de decisão por parte das autoridades competentes.

## 5.1 Próximos passos

Dadas as considerações e evidências aqui coletadas, sugere-se algumas frentes de aprimoramento do estudo.

- **Validação das suposições de benchmark com recortes temporais de análises de mesmas DMUs**

Sabe-se que os indicadores analisados podem ser destrinchados em variáveis e que oportunidades de investimentos nessas variáveis são possíveis.

Pode ser interessante, então, buscar essa mesma análise de 2017 para outros anos posteriores e entender se DMUs ineficientes se tornaram eficientes no tempo e qual indicador foi investido para tal.

- **Validação para outros municípios de quais indicadores expressam mais relação de eficiência com os produtos escolhidos**

Entender em uma análise mais abrangente com outros municípios se é possível identificar um padrão nas mudanças de insumos que culminam em um maior aproveitamento dos produtos de avaliação e número de matrículas.

Com essas frentes pode-se entender melhor a relação da infraestrutura com a qualidade de educação expressa pelos produtos do estudo e, assim, avançar em modelos de referência para a infraestrutura escolar de instituições de ensino.

# Referências

BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. **Management Science**, n. 9, p. 1078–1092, set./set. 1984. Disponível em: <<https://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/mnsc.30.9.1078>>. Acesso em: 20 jun. 2020.

BARROS, A. da S. X. Expansão da educação superior no brasil: limites e possibilidades. **Educação & Sociendade**, v. 36, n. 131, p. 361–390, abr./jun. 2015. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/es/v36n131/1678-4626-es-36-131-00361.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2020.

BECKENKAMP, M. T. **Análise envoltória de dados: considerações sobre o estabelecimento de restrições para os multiplicadores ótimos**. 2002. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/83033/186713.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 20 jun. 2020.

BRASIL. **Constituição (1988)**. Constituição da República Federativa do Brasil — *Senado Federal: Centro Gráfico*, Brasília, DF, 1988.

BRASIL. **Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996**. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional — *Diário Oficial da União*, Brasília, 1996.

BRASIL. **Lei nº 10.172, de 09 de janeiro de 2001**. Aprova o Plano de Educação e dá outras providências — *Diário Oficial da União*, Brasília, 2001.

BRASIL. **Lei nº 13.005, de 25 de junho de 2014**. Aprova o Plano de Educação e dá outras providências — *Diário Oficial da União*, Brasília, 2014.

BROOKE, N.; SOARES, J. F. Pesquisa em eficácia escolar no brasil: origem e trajetória. In: **Pesquisa em eficácia escolar no Brasil**. Belo Horizonte: EditoraUFMG, 2008. p. 482–500.

CAMPOS, M. M. A qualidade da educação em debate. **Cadernos do observatório: a educação brasileira na década de 90**, n. 2, p. 47–70, out./out. 2000. Disponível em: <<http://publicacoes.fcc.org.br/ojs/index.php/eae/article/view/2215/2173>>. Acesso em: 20 jun. 2020.

CASASSUS, J. **A escola e a desigualdade**. 2nd. ed. Brasília: Liber Livro, 2007.

- CHARNES, A.; COOPER, W. W.; LEWIN, A. Y.; SEIFORD, L. M. Data envelopment analysis theory, methodology and applications. **Journal of the Operational Research Society**, v. 48, n. 3, p. 332–334, jan./jan. 1997. Disponível em: <<https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2600342>>. Acesso em: 20 jun. 2020.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal of Operational Research**, n. 6, p. 429–444, nov./nov. 1978. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0377221778901388?via%3Dihub>>. Acesso em: 20 jun. 2020.
- CHRISTENSEN, C. M.; RAYNOR, M. E.; MACDONALD, R. What is disruptive innovation? **Harvard Business Review**, December 2015, p. 44–53, 2015. Disponível em: <<https://hbr.org/2015/12/what-is-disruptive-innovation>>. Acesso em: 20 set. 2020.
- EDUCAÇÃO, C. N. pelo D. **CAQi e o CAQ no PNE: Quanto custa a educação pública de qualidade no Brasil?** 1st. ed. São Paulo: Campanha Nacional pelo Direito à Educação, 2018.
- FARRELL, M. J. The measurement of productive efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)**, n. 3, p. 253–290, set./set. 1957. Disponível em: <[www.jstor.org/stable/2343100](http://www.jstor.org/stable/2343100)>. Acesso em: 20 jun. 2020.
- GUSMÃO, J. B. de. A construção da noção de qualidade da educação. **Ensaio: Avaliação, Políticas Públicas em Educação**, v. 21, n. 79, p. 299–322, abr./jun. 2013. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/ensaio/v21n79/07.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2020.
- HAIR, J. F.; TATHAM, R. L.; ANDERSON, R. E.; BLACK, W. **Multivariate Data Analysis**. 5th. ed. São Paulo: Pearson, 1998.
- JUBRAN, A. J. **Modelo de Análise de eficiência na administração pública: Um estudo aplicado as prefeituras brasileiras usando Análise Envoltória de Dados**. Tese de doutorado (Doutorado em Engenharia) — Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- MARQUES, C. S.; PEREIRA, B. A. D.; ALVES, J. N. Identificação dos principais fatores relacionados à infraestrutura universitária: uma análise em uma ies pública. **Sociais e Humanas, Santa Maria**, v. 23, n. 1, p. 91–103, jan./jun. 2010. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/index.php/sociaisehumanas/article/viewFile/2100/1284>>. Acesso em: 20 set. 2020.
- MELLO, J. C. C. B. S. de; MEZA, L. A.; GOMES, E. G.; NETO, L. B. Curso de análise de envoltória de dados: Pesquisa operacional e o desenvolvimento sustentável. In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE PESQUISA OPERACIONAL, 37., 2005, Gramado. **XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**. Gramado: Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional, 2005. p. 2521–2547.

- NETO, J. J. S.; JESUS, G. R. de; KARINO, C. A.; ANDRADE, D. F. de. Uma escala para medir a infraestrutura escolar. **Estudos em avaliação educacional**, n. 54, p. 78–99, jan./abr. 2013. Disponível em: <<http://www.fcc.org.br/pesquisa/publicacoes/eae/arquivos/1786/1786.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2020.
- NOLETO, M. J.; GOMES, M. R. O.; ALCALAY, M. **Qualidade da infraestrutura das escolas públicas do ensino fundamental no Brasil**. 1st. ed. Brasília: Edições UNESCO, 2019.
- OLIVEIRA, M. R. de; LAROS, J. A. Construtos mensurados no censo escolar 2002 - ensino fundamental. **Revista Eletrônica Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación**, n. 2, p. 217–231, jan./jan. 2007. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/233341631\\_CONSTRUTOS\\_MENSURADOS\\_NO\\_CENSO\\_ESCOLAR\\_2002\\_-\\_ENSINO\\_FUNDAMENTAL](https://www.researchgate.net/publication/233341631_CONSTRUTOS_MENSURADOS_NO_CENSO_ESCOLAR_2002_-_ENSINO_FUNDAMENTAL)>. Acesso em: 20 jun. 2020.
- OLIVEIRA, R. P. de; ARAUJO, G. C. de. Da universalização do ensino fundamental ao desafio da qualidade: uma análise histórica. **Educação e Sociedade**, v. 28, n. 100, p. 661–690, out./out. 2007. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/es/v28n100/a0328100.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2020.
- RAI, A. Measurement of efficiency in the airline industry using data envelopment analysis. **Investment Management and Financial Innovations**, n. 10, p. 38–45, mar./mar. 2013. Disponível em: <<http://orcid.org/0000-0001-7813-6117>>. Acesso em: 20 jun. 2020.
- RIBEIRO, L. de O. N. **Estudo do Setor de Logística Refrigerada e suas Oportunidades de Melhoria de Eficiência**. Trabalho de Graduação — Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2015.
- SANTOS, A. L. H. S. B. de S.; NAPOLITANO, C.; PIOLLI, E.; KLAFKE, G. F.; FARO, J. S.; GHIRARDI, J. G.; MALVESSI, O.; BURGARELLI, R.; OLIVEIRA, R. P. de; ADRIÃO, T.; ALMEIDA, W. M. de; (ORG.), G. M. **O Negócio da Educação**. 1st. ed. São Paulo: Olho D'água, 2017.
- SIQUEIRA, A. R.; NOGUEIRA, M. A. de L. G. Focalizando um segmento específico da rede privada de ensino: escolas particulares de baixo custo. **Educação e Pesquisa**, v. 43, n. 4, p. 1005–1022, out./dez. 2017. Disponível em: <[https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttextpid=S1517-97022017000401005](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttextpid=S1517-97022017000401005)>. Acesso em: 20 set. 2020.
- SÁ, R. F. de. **Avaliação de curso de graduação aplicando Análise Envoltória de Dados - DEA**. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) — Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.
- TUNEDUC: perfil do mercado. 2016. Disponível em: <<http://pub.tuneduc.com.br/perfil-do-mercado.pdf>>. Acesso em: 22 jun. 2016.
- UNESCO. **Incheon Declaration. Education 2030: towards inclusive and equitable quality education and lifelong learning for all**. Paris, 2015.

---

VASCONCELOS, J. C.; LIMA, P. V. P. S.; ROCHA, L. A.; KHAN, A. S. Infraestrutura escolar e investimentos públicos em educação no brasil: a importância para o desempenho educacional. **Avaliação e Políticas Públicas em Educação**, n. 104, p. 78–99, jan./abr. 2019. Disponível em: <[https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttextpid=S0104-40362020005009201tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttextpid=S0104-40362020005009201tlng=pt)>. Acesso em: 20 set. 2020.

# Apêndice A - Metodologia para obtenção dos *Inputs* do DEA

A obtenção dos *inputs* a serem utilizados no método DEA é feito com base na geração dos indicadores e dimensões proposto por (NOLETO *et al.*, 2019).

Para cada variável estabelece-se categorias e a cada categoria é estabelecido um escore específico de acordo com seu nível de complexidade. A ilustração dos indicadores, variáveis, categorias e seus respectivos escores com base na complexidade segue nas tabelas abaixo.

TABELA A.1 – Descritivo do indicador "acesso à serviços", suas variáveis e respectivos escores.

Fonte: adaptada de (NOLETO *et al.*, 2019)

Indicador	Variáveis	Categorias
Acesso à serviços	Água	0 - Inexistente
		1 - Fonte/Rio/Cacimba
		2 - Poço artesiano
		3 - Rede pública
Energia	0 - Inexistente	
	1 - Outros/Gerador	
	2 - Rede pública	
Esgoto	0 - Inexistente	
	1 - Fossa	
	2 - Rede pública	
Lixo	0 - Outro/Queima/Enterra	
	1 - Coleta periódica	

TABELA A.2 – Descritivo do indicador ”instalações do prédio”, suas variáveis e respectivos escores.

Fonte: adaptada de (NOLETO *et al.*, 2019)

Indicador	Variáveis	Categorias
Instalações do prédio	<b>Banheiro</b>	0 - Não 1 - Apenas fora 2 - Apenas dentro ou dentro e fora
	<b>Cozinha</b>	0 - Não 1 - Sim
	<b>Refeitório</b>	0 - Não 1 - Sim
	<b>Despensa</b>	0 - Não 1 - Sim
	<b>Água Filtrada</b>	0 - Não 1 - Sim
	<b>Sala Diretoria</b>	0 - Não 1 - Sim
	<b>Sala Professor</b>	0 - Não 1 - Sim
	<b>Secretaria</b>	0 - Não 1 - Sim
<b>Almoxarifado</b>	0 - Não 1 - Sim	

TABELA A.3 – Descritivo do indicador "prevenção de danos", suas variáveis e respectivos escores.

Fonte: adaptada de (NOLETO *et al.*, 2019)

Indicador	Variáveis	Categorias
Prevenção de danos	Proteção de incêndio	0 - Inexistente 1 - Ruim 2 - Regular 3 - Bom
	Iluminação fora da escola	0 - Inexistente 1 - Ruim 2 - Regular 3 - Bom
	Muros, grade ou cerca	0 - Não 1 - Sim
	Mecanismos de proteção	0 - Não 1 - Sim

TABELA A.4 – Descritivo do indicador ”conservação”, suas variáveis e respectivos escores.  
 Fonte: adaptada de (NOLETO *et al.*, 2019)

<b>Indicador</b>	<b>Variáveis</b>	<b>Categorias</b>	<b>Variáveis</b>	<b>Categorias</b>
<b>Conservação</b>	<b>Telhado</b>	0 - Ruim 1 - Regular 2 - Bom	<b>Portas</b>	0 - Ruim 1 - Regular 2 - Bom
	<b>Piso</b>	0 - Ruim 1 - Regular 2 - Bom	<b>Janelas</b>	0 - Ruim 1 - Regular 2 - Bom
	<b>Entrada</b>	0 - Ruim 1 - Regular 2 - Bom	<b>Banheiros</b>	0 - Ruim 1 - Regular 2 - Bom
	<b>Pátio</b>	0 - Ruim 1 - Regular 2 - Bom	<b>Cozinha</b>	0 - Ruim 1 - Regular 2 - Bom
	<b>Corredor</b>	0 - Ruim 1 - Regular 2 - Bom	<b>Instalações hidráulicas</b>	0 - Ruim 1 - Regular 2 - Bom
	<b>Sala</b>	0 - Ruim 1 - Regular 2 - Bom	<b>Instalações elétricas</b>	0 - Ruim 1 - Regular 2 - Bom

TABELA A.5 – Descritivo do indicador ”conforto”, suas variáveis e respectivos escores.  
 Fonte: adaptada de (NOLETO *et al.*, 2019)

<b>Indicador</b>	<b>Variáveis</b>	<b>Categorias</b>
<b>Conforto</b>	<b>Sala Iluminada</b>	0 - Nenhuma/menos da metade 1 - Mais da metade 2 - Todas
	<b>Sala Arejada</b>	0 - Nenhuma/menos da metade 1 - Mais da metade 2 - Todas
	<b>Biblioteca Arejada Iluminada</b>	0 - Não 1 - Sim

TABELA A.6 – Descritivo do indicador "ambiente prazeroso", suas variáveis e respectivos escores.

 Fonte: adaptada de (NOLETO *et al.*, 2019)

Indicador	Variáveis	Categorias
Ambiente Prazeroso	Pátio Coberto	0 - Não tem pátio 1 - Tem pátio (coberto ou descoberto) 2 - Tem pátio coberto e descoberto
	Banheiro com chuveiro	0 - Não 1 - Sim
	Área Verde	0 - Não 1 - Sim
	Parque Infantil	0 - Não 1 - Sim

TABELA A.7 – Descritivo do indicador "espaços pedagógicos", suas variáveis e respectivos escores.

 Fonte: adaptada de (NOLETO *et al.*, 2019)

Indicador	Variáveis	Categorias
Espaços pedagógicos	Laboratório de Informática	0 - Não 1 - Sim
	Computador aluno	0 - Nenhum 1 - Entre 1 e 5 2 - Entre 6 e 10 3 - Entre 11 e 15 4 - Entre 16 e 20 Mais de 20
	Sala de leitura/biblioteca	0 - Não tem biblioteca/sala de leitura 1 - Somente sala de leitura 2 - Somente biblioteca 3 - Biblioteca e sala de leitura
	Quadra	0 - Não possui 1 - Somente descoberta 2 - Somente coberta 3 - Coberta e descoberta
	Laboratório de ciências	0 - Não 1 - Sim
	Auditório	0 - Não 1 - Sim

TABELA A.8 – Descritivo do indicador "Equipamentos para apoio administrativo", suas variáveis e respectivos escores.

Fonte: adaptada de (NOLETO *et al.*, 2019)

Indicador	Variáveis	Categorias
Equipamentos para apoio administrativo	<b>Copiadora</b>	0 - Nenhum 1 - Um item 2 - Dois itens 3 - Três ou mais
	<b>Impressora</b>	0 - Nenhum 1 - Um item 2 - Dois itens 3 - Três ou mais
	<b>Impressora Multimídia</b>	0 - Nenhum 1 - Um item 2 - Dois itens 3 - Três ou mais
	<b>Computador Administrativo</b>	0 - Nenhum 1 - Um item 2 - 2 ou 3 3 - De 4 a 7 4 - Mais de 7
	<b>Internet banda larga</b>	0 - Não possui 1 - Possui internet sem banda larga 2 - Possui banda larga

TABELA A.9 – Descritivo do indicador "Equipamentos para apoio pedagógico", suas variáveis e respectivos escores.

Fonte: adaptada de (NOLETO *et al.*, 2019)

Indicador	Variáveis	Categorias
Equipamentos para apoio pedagógico	Equipamento de TV	0 - Nenhum 1 - Um item 2 - Dois itens 3 - Três ou mais
	Equipamento de DVD	0 - Nenhum 1 - Um item 2 - Dois itens 3 - Três ou mais
	Equipamento de Som	0 - Nenhum 1 - Um item 2 - Dois itens 3 - Três itens 4 - Quatro ou mais
	Equipamento de Multimídia	0 - Nenhum 1 - Um item 2 - Dois itens 3 - Três ou mais
	Equipamento de Foto	0 - Nenhum 1 - Um item 2 - Dois itens 3 - Três ou mais

TABELA A.10 – Descritivo do indicador "Acessibilidade", suas variáveis e respectivos escores.

Fonte: adaptada de (NOLETO *et al.*, 2019)

Indicador	Variáveis	Categorias
Acessibilidade	Banheiro para portadores de necessidades especiais	0 - Não 1 - Sim
	Dependências para portadores de necessidades especiais	0 - Não 1 - Sim

# **Anexo A - Base de escolas do Censo Escolar da Educação Básica**

Reprodução da tabela de variáveis da base de escolas do Censo Escolar da Educação Básica do ano de 2017.

## ANEXO A. BASE DE ESCOLAS DO CENSO ESCOLAR DA EDUCAÇÃO BÁSICA 2

TABELA A.1 – Tabela de variáveis de infraestrutura presente no Censo Escolar da Educação Básica. Fonte: Inep 2017.

N	Nome da Variável	Descrição da Variável
41	IN_AGUA.FILTRADA	Água consumida pelos alunos na escola passa por um processo de filtragem
42	IN_AGUA.REDE.PUBLICA	Abastecimento de água - Rede pública
43	IN_AGUA.POCO.ARTESIANO	Abastecimento de água - Poço artesiano
44	IN_AGUA.CACIMBA	Abastecimento de água - Cacimba/Cisterna/Poço
45	IN_AGUA.FONTE.RIO	Abastecimento de água - Fonte/Rio/Igarapé/Riacho/Córrego
46	IN_AGUA.INEXISTENTE	Abastecimento de água - Inexistente
47	IN_ENERGIA.REDE.PUBLICA	Abastecimento de energia elétrica - Rede pública
48	IN_ENERGIA.GERADOR	Abastecimento de energia elétrica - Gerador
49	IN_ENERGIA.OUTROS	Abastecimento de energia elétrica - Outros (Energia alternativa)
50	IN_ENERGIA.INEXISTENTE	Abastecimento de energia elétrica - Inexistente
51	IN_ESGOTO.REDE.PUBLICA	Esgoto sanitário - Rede pública
52	IN_ESGOTO.FOSSA	Esgoto sanitário - Fossa
53	IN_ESGOTO.INEXISTENTE	Esgoto sanitário - Inexistente
54	IN_LIXO.COLETA.PERIODICA	Destinação do lixo - Coleta periódica
55	IN_LIXO.QUEIMA	Destinação do lixo - Queima
56	IN_LIXO.JOGA.OUTRA.AREA	Destinação do lixo - Joga em outra área
57	IN_LIXO.RECICLA	Destinação do lixo - Recicla
58	IN_LIXO.ENTERRA	Destinação do lixo - Enterra
59	IN_LIXO.OUTROS	Destinação do lixo - Outros
60	IN_SALA.DIRETORIA	Dependências existentes na escola - Sala de Diretoria
61	IN_SALA.PROFESSOR	Dependências existentes na escola - Sala de professores
62	IN_LABORATORIO.INFORMATICA	Dependências existentes na escola - Laboratório de informática
63	IN_LABORATORIO.CIENCIAS	Dependências existentes na escola - Laboratório de ciências
64	IN_SALA.ATENDIMENTO.ESPECIAL	Dependências existentes na escola - Sala de recursos Multifuncionais para Atendimento Educacional Especializado (AEE)
65	IN_QUADRA.ESPORTES.COBERTA	Dependências existentes na escola - Quadra de esportes Coberta
66	IN_QUADRA.ESPORTES.DESCOBERTA	Dependências existentes na escola - Quadra de esportes Descoberta
67	IN_QUADRA.ESPORTES	Dependências existentes na escola - Quadra de esportes coberta ou descoberta
68	IN_COZINHA	Dependências existentes na escola - Cozinha
69	IN_BIBLIOTECA	Dependências existentes na escola - Biblioteca
70	IN_SALA.LEITURA	Dependências existentes na escola - Sala de Leitura
71	IN_BIBLIOTECA.SALA.LEITURA	Dependências existentes na escola - Biblioteca e/ou Sala de leitura
72	IN_PARQUE.INFANTIL	Dependências existentes na escola - Parque infantil
73	IN_BERCARIO	Dependências existentes na escola - Berçário
74	IN_BANHEIRO.FORA.PREDIO	Dependências existentes na escola - Banheiro fora do prédio
75	IN_BANHEIRO.DENTRO.PREDIO	Dependências existentes na escola - Banheiro dentro do prédio
76	IN_BANHEIRO.EI	Dependências existentes na escola - Banheiro adequado à educação infantil
77	IN_BANHEIRO.PNE	Dependências existentes na escola - Banheiro adequado ao uso dos alunos com deficiência ou mobilidade reduzida
78	IN_DEPENDENCIAS.PNE	Dependências existentes na escola - Dependências e vias adequadas a alunos com deficiência ou mobilidade reduzida
79	IN_SECRETARIA	Dependências existentes na escola - Sala de secretaria
80	IN_BANHEIRO.CHUVEIRO	Dependências existentes na escola - Banheiro com chuveiro
81	IN_REFEITORIO	Dependências existentes na escola - Refeitório
82	IN_DESPENSA	Dependências existentes na escola - Despensa
83	IN_ALMOXARIFADO	Dependências existentes na escola - Almojarifado
84	IN_AUDITORIO	Dependências existentes na escola - Auditório
85	IN_PATIO.COBERTO	Dependências existentes na escola - Pátio Coberto
86	IN_PATIO.DESCOBERTO	Dependências existentes na escola - Pátio Descoberto
87	IN_ALOJAM.ALUNO	Dependências existentes na escola - Alojamento de Aluno
88	IN_ALOJAM.PROFESSOR	Dependências existentes na escola - Alojamento de professor
89	IN_AREA.VERDE	Dependências existentes na escola - Área Verde
90	IN_LAVANDERIA	Dependências existentes na escola - Lavanderia
91	IN_DEPENDENCIAS.OUTRAS	Dependências existentes na escola - Nenhuma das dependência relacionadas
92	NU_SALAS_EXISTENTES	Número de salas de aula existentes na escola
93	NU_SALAS_UTILIZADAS	Número de salas utilizadas como salas de aula (dentro e fora do prédio)
94	IN_EQUIP_TV	Equipamentos existentes na escola - Aparelho de televisão
95	IN_EQUIP_VIDEOCASSETE	Equipamentos existentes na escola - Videocassete
96	IN_EQUIP_DVD	Equipamentos existentes na escola - DVD
97	IN_EQUIP_PARABOLICA	Equipamentos existentes na escola - Antena parabólica
98	IN_EQUIP_COPIADORA	Equipamentos existentes na escola - Copiadora
99	IN_EQUIP_RETROPROJETOR	Equipamentos existentes na escola - Retroprojektor
100	IN_EQUIP_IMPRESSORA	Equipamentos existentes na escola - Impressora
101	IN_EQUIP_IMPRESSORA_MULT	Equipamentos existentes na escola - Impressora Multifuncional
102	IN_EQUIP_SOM	Equipamentos existentes na escola - Aparelho de som
103	IN_EQUIP_MULTIMIDIA	Equipamentos existentes na escola - Projetor Multimídia (Datashow)
104	IN_EQUIP_FAX	Equipamentos existentes na escola - Fax
105	IN_EQUIP_FOTO	Equipamentos existentes na escola - Máquina fotográfica/Filmadora
106	IN_COMPUTADOR	Equipamentos existentes na escola - Computador
107	NU_EQUIP_TV	Quantidade de Aparelhos de televisão
108	NU_EQUIP_VIDEOCASSETE	Quantidade de Videocassetes
109	NU_EQUIP_DVD	Quantidade de Aparelhos de DVD
110	NU_EQUIP_PARABOLICA	Quantidade de Antenas parabólicas
111	NU_EQUIP_COPIADORA	Quantidade de Copiadoras
112	NU_EQUIP_RETROPROJETOR	Quantidade de Retroprojetores
113	NU_EQUIP_IMPRESSORA	Quantidade de Impressoras
114	NU_EQUIP_IMPRESSORA_MULT	Quantidade de Impressoras Multifuncionais
115	NU_EQUIP_SOM	Quantidade de Aparelhos de som
116	NU_EQUIP_MULTIMIDIA	Quantidade de Projetores Multimídias (Datashow)
117	NU_EQUIP_FAX	Quantidade de Fax
118	NU_EQUIP_FOTO	Quantidade de Máquinas Fotográficas/ Filmadoras
119	NU_COMPUTADOR	Quantidade de computadores na escola
120	NU_COMP_ADMINISTRATIVO	Quantidade de computadores de uso administrativo
121	NU_COMP_ALUNO	Quantidade de computadores para uso dos alunos
122	IN_INTERNET	Acesso à Internet
123	IN_BANDA_LARGA	Internet Banda Larga

# **Anexo B - Variáveis de infraestrutura presentes nos questionários do Saeb**

Reprodução da tabela de variáveis da base de respostas dos questionários do Sistema de Avaliação da Educação Básica (Saeb).

TABELA B.1 – Variáveis relativas à infraestrutura presente no Saeb de 2017. Fonte: Inep 2017.

<b>N</b>	<b>Nome da variável</b>	<b>Descrição da variável</b>
1	Prot_inc	Existência de sistema de proteção contra incêndio
2	Ilum_fora	Existência de boa iluminação do lado de fora da escola
3	Mur_gra_cer	Existência de muros, grades ou cercas
4	Mec_prot	Existência de mecanismos de proteção
5	Telhado	Estado de conservação do telhado
6	Parede	Estado de conservação da parede
7	Piso	Estado de conservação do piso
8	Entrada	Estado de conservação da entrada
9	Pátio	Estado de conservação do pátio
10	Corredor	Estado de conservação dos corredores
11	Sala	Estado de conservação das salas
12	Porta	Estado de conservação das portas
13	Janela	Estado de conservação das janelas
14	Banheiro	Estado de conservação dos banheiros
15	Cozinha	Estado de conservação da cozinha
16	Inst_Hid	Estado de conservação das instalações hidráulicas
17	Inst_Elet	Estado de conservação elétricas
18	Depred.	Existência de sinais de depredação
19	Ilum_Sala	Iluminação das salas
20	Sala_arej	Salas Arejadas
21	Bibl_Arej_Ilumn	Biblioteca ou sala de leitura é arejada e iluminada

## FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO

<sup>1.</sup> CLASSIFICAÇÃO/TIPO <p style="text-align: center;"><b>TC</b></p>	<sup>2.</sup> DATA <p style="text-align: center;">18 de novembro de 2020</p>	<sup>3.</sup> REGISTRO N° <p style="text-align: center;">DCTA/ITA/TC-039/2020</p>	<sup>4.</sup> N° DE PÁGINAS <p style="text-align: center;">74</p>
<sup>5.</sup> TÍTULO E SUBTÍTULO:  Análise sobre investimentos em infraestrutura no ambiente escolar e suas oportunidades de melhoria de eficiência			
<sup>6.</sup> AUTOR(ES):  <b>Gabriel Lobo de Carvalho e Teixeira</b>			
<sup>7.</sup> INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES):  Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA			
<sup>8.</sup> PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR:  Educação, Ensino Fundamental, Infraestrutura Escolar, DEA, Análise Envoltória de Dados			
<sup>9.</sup> PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO:  Educação primária; Análise envoltória de dados; Administração escolar; Eficiência; Educação.			
<sup>10.</sup> APRESENTAÇÃO: <p style="text-align: right;"> <input checked="" type="checkbox"/> <b>Nacional</b>      <input type="checkbox"/> <b>Internacional</b> </p> ITA, São José dos Campos. Curso de Graduação em Engenharia Civil-Aeronáutica. Orientadora: Profa. Giovanna Miceli Ronzani Borille. Publicado em 2020.			
<sup>11.</sup> RESUMO:  O número de matrículas na educação básica no Brasil vem crescendo expressivamente na última década. A expansão desenfreada nesse segmento da educação pode fazer com que certos fatores, dentre eles o de infraestrutura, sejam negligenciados no processo, assim como aconteceu no segmento da educação superior. Esse estudo visa mostrar como as instituições de ensino fundamental podem ser eficientes nos investimentos em infraestrutura escolar de forma a continuar o crescimento em alunos, bem como manter a qualidade nas avaliações nacionais. Para tanto, utiliza-se o método da Análise Envoltória de Dados (DEA) em busca de instituições que sejam referência nesses investimentos de forma a balizar as decisões de instituições ineficientes. A aplicação do modelo culminou em pontos-chave de investimento em infraestrutura para oito instituições municipais de ensino fundamental de São José dos Campos tidas como ineficientes.			
<sup>12.</sup> GRAU DE SIGILO:  <p style="text-align: center;"> <input checked="" type="checkbox"/> <b>OSTENSIVO</b>      <input type="checkbox"/> <b>RESERVADO</b>      <input type="checkbox"/> <b>SECRETO</b> </p>			