UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

Faculdade de Engenharia - Campus de Bauru

ARTHUR BISPO FERREIRA

PROPOSIÇÃO DE CERTIFICAÇÃO AMBIENTAL PARA UNIDADES EDUCACIONAIS:

escolas como referência para o desenvolvimento de qualidade ambiental

Bauru

2026

ARTHUR BISPO FERREIRA

PROPOSIÇÃO DE CERTIFICAÇÃO AMBIENTAL PARA UNIDADES EDUCACIONAIS:

escolas como referência para o desenvolvimento de qualidade ambiental

Dissertação apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Bauru, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Área de Concentração: Saneamento, Poluição e Controle.

Orientadora: Prof.ª Dr.ª Fabiana Alves Fiore

Bauru

2026

Ferreira, Arthur Bispo

F383p Proposição de certificação ambiental para unidades educacionais: escolas como referência para o desenvolvimento de qualidade ambiental / Arthur Bispo Ferreira. – Bauru, 2026,

104 f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Engenharia, Bauru

Orientadora: Fabiana Alves Fiore

1. Sustentabilidade escolar. 2. resiliência climática. 3. Indicadores de desempenho. 4. certificação ambiental. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados fornecidos pelo autor.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE ARTHUR BISPO FERREIRA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL, DA FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 07 de agosto de 2026, às 9h, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de ARTHUR BISPO FERREIRA, intitulada "PROPOSIÇÃO DE CERTIFICAÇÃO AMBIENTAL PARA UNIDADES EDUCACIONAIS: ESCOLAS COMO REFERÊNCIA PARA O DESENVOLVIMENTO DE QUALIDADE AMBIENTAL". A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Profª. Drª. FABIANA ALVES FIORE PINTO (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia Ambiental / UNESP / Câmpus de São José dos Campos - ICT, Prof. Dr. GRAZIELE RUAS LAGOAS DA SILVA (Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia Civil e Ambiental / UNESP / Câmpus de Bauru - FEB, Prof. Dr. WILSON CABRAL DE SOUSA JUNIOR (Participação Virtual) do(a) Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental / Instituto Tecnológico de Aeronáutica/ITA, Após a exposição pelo mestrando e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, o discente recebeu o conceito final:_ _ APROVADO _ _ . Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

gov.br Documento assinado digitalmente
FABIANA ALVES FIORE PINTO
Data: 10/08/2026 10:58:14-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Profª. Drª. FABIANA ALVES FIORE PINTO

ARTHUR BISPO FERREIRA

PROPOSIÇÃO DE CERTIFICAÇÃO AMBIENTAL PARA UNIDADES EDUCACIONAIS:

escolas como referência para o desenvolvimento de qualidade ambiental

Dissertação apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Bauru, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Área de Concentração: Saneamento, Poluição e Controle.

Data da defesa: 07/08/2026

Banca Examinadora:

Prof.ª Dr.ª Fabiana Alves Fiore
UNESP - Instituto de Ciência e Tecnologia - Campus de São José dos Campos

Prof.ª Dr.ª Graziele Ruas Lagoas da Silva
UNESP - Faculdade de Engenharia - Campus de Bauru

Prof. Dr. Wilson Cabral de Sousa Júnior
Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA)

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, pela concessão de bolsa de pesquisa de Mestrado (processo 88887.914810/2023-00).

Agradeço, primeiramente, a Deus, por ter me sustentado em todos os momentos e permitido que eu chegasse até aqui. À minha orientadora, Professora Dra. Fabiana Alves Fiore, pela orientação dedicada, pelo incentivo constante e pelos valiosos ensinamentos que tanto contribuíram para a realização deste trabalho ao longo de toda a minha trajetória acadêmica e que me faz acreditar que este sonho é possível. Às escolas que gentilmente abriram suas portas e participaram do processo de construção da ferramenta, meu sincero reconhecimento. Sem a colaboração de gestores, professores e funcionários, este estudo não teria sido possível. Aos pesquisadores e especialistas que se dispuseram a validar a ferramenta, minha profunda gratidão. As contribuições de cada um foram fundamentais para o aperfeiçoamento do instrumento e para a credibilidade desta pesquisa. A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste sonho, com início em 2019 com o Projeto Escola Sustentável, deixo meu muito obrigado.

RESUMO

A atual crise climática e as desigualdades socioeconômicas agravam as vulnerabilidades de territórios expostos a riscos de desastres socioambientais, demandando a transformação dos padrões de produção, consumo e ocupação. Nesse contexto, a educação ambiental crítica e a Educação para Redução de Riscos de Desastres (ERRD) emergem como caminhos estratégicos para a construção de comunidades mais justas, sustentáveis e resilientes. As unidades escolares têm papel central nessa transformação, são espaços privilegiados de educação formal, de produção de conhecimento sobre sustentabilidade, riscos e resiliência socioambiental e de vínculo direto com seus territórios. Entretanto, carecem de instrumentos sistematizados para avaliar e certificar as ações que promovem em prol da sustentabilidade e da resiliência. Esta pesquisa propôs e validou uma ferramenta de certificação de desempenho ambiental voltada para unidades educacionais, a Certificação Escolar de Sustentabilidade e Resiliência (CESR), visando estabelecer as escolas como referência de qualidade ambiental em escala local. A investigação, de abordagem quali-quantitativa, desenvolveu-se em duas frentes complementares. A primeira estruturou um arcabouço conceitual de indicadores de resiliência aplicáveis a unidades educacionais, organizado nas categorias de avaliação, capacitação, monitoramento e preservação/conservação, construído por meio de revisão sistemática, análise documental de políticas públicas de adaptação climática e validação participativa com atores do território. A segunda integrou esse eixo aos indicadores de sustentabilidade previamente definidos, parametrizou o conjunto em 21 escolas públicas, urbanas e rurais, da Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte (RMVPLN) e o submeteu a validação por painel de especialistas, pelo método Delphi, e a priorização e modelagem causal, pelas técnicas AHP e DEMATEL, resultando em uma proposta de certificação estruturada em patamares progressivos. Dessa forma, a ferramenta permite avaliar as condições socioambientais em escala local, identificar lacunas e oportunidades nas estratégias municipais de gestão sustentável e consolidar redes de colaboração para monitoramento climático, capacitação de atores sociais e conservação de ecossistemas, contribuindo para a mitigação e a adaptação aos impactos das mudanças climáticas. Em âmbito mais amplo, alinhados aos ODS 4, 11 e 13, os resultados têm o potencial de subsidiar a formulação de políticas públicas, oferecendo um modelo adaptável a diferentes escalas regionais e nacionais.

Palavras-chave: sustentabilidade escolar; resiliência climática; indicadores de desempenho; certificação ambiental.

ABSTRACT

The current climate crisis and socioeconomic inequalities aggravate the vulnerabilities of territories exposed to socio-environmental disaster risks, demanding the transformation of production, consumption, and land occupation patterns. In this context, critical environmental education and Education for Disaster Risk Reduction (EDRR) emerge as strategic pathways for building fairer, more sustainable, and more resilient communities. Schools play a central role in this transformation, as they are privileged spaces of formal education, of knowledge production on sustainability, risks, and socio-environmental resilience, and of direct connection with their territories. However, they lack systematized instruments to assess and certify the actions they undertake in favor of sustainability and resilience. This research proposed and validated an environmental performance certification tool aimed at educational units, the School Certification for Sustainability and Resilience (CESR), seeking to establish schools as benchmarks of environmental quality at the local scale. The investigation, based on a quali-quantitative approach, was developed along two complementary fronts. The first structured a conceptual framework of resilience indicators applicable to educational units, organized into the categories of assessment, capacity building, monitoring, and preservation/conservation, and built through a systematic review, documentary analysis of public policies on climate adaptation, and participatory validation with local stakeholders. The second integrated this axis with previously defined sustainability indicators, parameterized the set in 21 public schools, both urban and rural, in the Metropolitan Region of Vale do Paraíba and Litoral Norte (RMVPLN), and subjected it to validation by an expert panel using the Delphi method, as well as to prioritization and causal modeling using the AHP and DEMATEL techniques, resulting in a certification proposal structured in progressive tiers. In this way, the tool makes it possible to assess socio-environmental conditions at the local scale, identify gaps and opportunities in municipal sustainable management strategies, and consolidate collaboration networks for climate monitoring, capacity building of social actors, and ecosystem conservation, contributing to the mitigation of and adaptation to the impacts of climate change. On a broader level, in alignment with SDGs 4, 11, and 13, the results have the potential to support the formulation of public policies, offering a model adaptable to different regional and national scales.

Keywords: school sustainability; climate resilience; performance indicators; environmental certification.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 1

Figura 1 –	Área de atuação do Projeto Escola Sustentável (PES) em São José dos Campos-SP	14

PRIMEIRO ARTIGO

Figure 1 –	*Timeline of international frameworks for DRRs*	24
Figure 2 –	*Research stages*	27
Figure 3 –	*Number of publications related to resilience, by category and year*	30
Figure 4 –	*Map of Brazilian states with climate change adaptation policies and plans (2025)*	31
Figure 5 –	*Indicators – categorised into dimensions, categories and subcategories*	33
Chart 1 –	*Final Sample of Resilience Indicators*	34
Figure 6 –	*Radar charts showing the degree of importance of the indicator subcategories*	39
Chart 2 –	*Parameters for Indicators by Axis*	41
Figure 7 –	*Main axis structure of indicators for a Sustainable and Resilient School*	42
Figure 8 –	*Indicator structure of the "Physical Structure" axis, categories and subcategories*	42
Figure 9 –	*Indicator structure of the "Education for Sustainability" axis, categories and subcategories*	43
Figure 10 –	*Indicator structure of the "Management" axis, categories and subcategories*	43
Figure 11 –	*Indicator structure of the "Resilience" axis, categories and subcategories*	43

SEGUNDO ARTIGO

Figura 1 –	Etapas da metodologia	58
Figura 2 –	Municípios da Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte	67
Figura 3-a –	Parâmetros dos Indicadores Escola Sustentável e Resiliente: eixo 'Estrutura Física' > 'Edificações sustentáveis' > 'Subcategorias' > 'Parâmetros'	70
Figura 3-b –	Parâmetros dos Indicadores Escola Sustentável e Resiliente: eixo 'Educação para Sustentabilidade' > 'Currículo' > 'Subcategorias' > 'Parâmetros'	71
Figura 3-c –	Parâmetros dos Indicadores Escola Sustentável e Resiliente: eixo 'Gestão' > 'Ambiental' > 'Subcategorias' > 'Parâmetros'	71
Figura 3-d –	Parâmetros dos Indicadores Escola Sustentável e Resiliente: eixo 'Resiliência' > 'Avaliação' > 'Subcategorias' > 'Parâmetros'	72
Figura 4 –	Distribuição dos indicadores por eixo e status de validação	73
Figura 5 –	Pesos AHP atribuídos aos eixos da CESR	75
Figura 6 –	Distribuição dos pesos dos eixos sob simulação de Monte Carlo	76
Figura 7 –	Mapa causa-efeito DEMATEL no nível dos eixos	77
Figura 8 –	Mapa causa-efeito DEMATEL no nível dos fatores/indicadores	78

LISTA DE TABELAS

SEGUNDO ARTIGO

Tabela 1 –	Distribuição dos indicadores codificados por tipo e eixo	66
Tabela 2 –	Pesos AHP dos eixos e sensibilidade de Monte Carlo	75
Tabela 3 –	DEMATEL no nível dos eixos: relação líquida e classificação	77
Tabela 4 –	Patamares de certificação da ferramenta CESR	80
Tabela 5 –	Comparação da CESR com ferramentas de referência	82
Tabela 6 –	Princípios do PNQS e suas correspondências na Ferramenta de Avaliação da Sustentabilidade Escolar	85

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A3P –	Agenda Ambiental na Administração Pública
AbE –	Adaptação baseada em Ecossistemas
ABES –	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
ABNT –	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AHP –	Analytic Hierarchy Process (Processo de Análise Hierárquica)
AMD –	Apoio Multicritério à Decisão
APP –	Áreas de Preservação Permanente
AQUA-HQE –	Alta Qualidade Ambiental – Haute Qualité Environnementale
BREEAM –	Building Research Establishment Environmental Assessment Method
CAAE –	Certificado de Apresentação de Apreciação Ética
CAPES –	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CC BY –	Creative Commons Atribuição (Attribution)
CC BY-NC –	Creative Commons Atribuição-NãoComercial (Attribution-NonCommercial)
CEMADEN –	Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
CESR –	Certificação Escolar de Sustentabilidade e Resiliência
CNPq –	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
COVID-19 –	Coronavirus Disease 2019 (doença causada pelo coronavírus SARS-CoV-2)
CR –	razão de consistência (consistency ratio) do AHP
CST –	Certificação de Turismo Sustentável (Certificación para la Sostenibilidad Turística, Costa Rica)
CV –	coeficiente de variação
DEMATEL –	Decision Making Trial and Evaluation Laboratory
DOI –	Digital Object Identifier (identificador digital de objeto)
EDRR –	Education for Disaster Risk Reduction (Abstract)
EF –	Estrutura Física (eixo da CESR)
EFETIs –	Escolas de Formação em Tempo Integral
EfS –	Education for Sustainability (Abstract do Capítulo 3)
EpS –	Educação para a Sustentabilidade (eixo da CESR)
ERRD –	Educação para Redução de Riscos de Desastres
FEE –	Foundation for Environmental Education
FJP –	Fundação João Pinheiro
FNDE –	Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação
GES –	Gestão (eixo da CESR)
IBGE –	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBICT –	Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia
IC –	intervalo de confiança
ICT –	Instituto de Ciência e Tecnologia (UNESP, Campus de São José dos Campos); nas citações (ICT, 2025) do Capítulo 3, Instituto Costarricense de Turismo
ID –	identificador único do indicador
IDHM –	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
INEP –	Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira
INRM –	Influential Network Relationship Map (mapa de relacionamento da rede influente)
IPEA –	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

IQR –	Interquartile Range (intervalo interquartil)
ISO –	International Organization for Standardization
ISSN –	International Standard Serial Number (e-ISSN: ISSN da versão eletrônica; ISSN-L: ISSN de ligação)
ITA –	Instituto Tecnológico de Aeronáutica
LEED –	Leadership in Energy and Environmental Design
MEC –	Ministério da Educação
MGT –	Management (Abstract do Capítulo 3)
MMA –	Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA/GM: Gabinete do Ministro)
MonitoraEA –	Sistema Brasileiro de Monitoramento e Avaliação de Políticas Públicas de Educação Ambiental
NBR –	Norma Brasileira (ABNT)
OAI –	Open Archives Initiative
ODS –	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONG –	organização não governamental
ONU –	Organização das Nações Unidas
ORCID –	Open Researcher and Contributor ID
PES –	Projeto Escola Sustentável
PIBIC-EM –	Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica para o Ensino Médio
PNEA –	Política Nacional de Educação Ambiental
PNQS –	Prêmio Nacional da Qualidade em Saneamento
PNUD –	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PRISMA –	Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses
PRN –	Programa de Revitalização de Nascentes
ProNAMEA –	Programa Nacional de Avaliação e Monitoramento da Educação Ambiental
PS –	Physical Structure (Abstract do Capítulo 3)
R1, R2, R3 –	primeira, segunda e terceira rodadas do método Delphi
RES –	Resiliência (eixo da CESR); Resilience
RIAEE –	Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação
RMVPLN –	Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte
SAHSBPT –	Sustainability Assessment of High School Buildings – Portugal (metodologia derivada do SBTool)
SbN –	Soluções baseadas na Natureza
SBTool –	Sustainable Building Tool (SBToolPT: versão portuguesa)
SCS –	Sustainable Cities and Society (periódico)
SDGs –	Sustainable Development Goals (Abstract)
SNIS –	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SP –	São Paulo (estado)
STARS –	Sustainability Tracking, Assessment & Rating System
UI GreenMetric –	Universitas Indonesia GreenMetric World University Rankings
UNESP –	Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
UNIFESP –	Universidade Federal de São Paulo
URL –	Uniform Resource Locator (endereço eletrônico)
USGBC –	United States Green Building Council
WCCD –	World Council on City Data

SUMÁRIO

1 TRAJETÓRIA DO PROJETO ESCOLA SUSTENTÁVEL E A CONSTRUÇÃO DA FERRAMENTA DE CERTIFICAÇÃO ESCOLAR DE SUSTENTABILIDADE E RESILIÊNCIA (CESR) **12**

1.1 OBJETIVO GERAL 17

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 17

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO 18

2 *STRUCTURING RESILIENCE INDICATORS APPLICABLE FOR EDUCATIONAL INSTITUTIONS: A CONCEPTUAL FRAMEWORK FOR CLIMATE ADAPTATION AND MANAGEMENT* **20**

3 PROPOSIÇÃO E VALIDAÇÃO DE FERRAMENTA INTEGRADA DE CERTIFICAÇÃO ESCOLAR DE SUSTENTABILIDADE E RESILIÊNCIA (CESR) **53**

4 CONCLUSÃO, CONTRIBUIÇÕES E PERSPECTIVAS **95**

REFERÊNCIAS **98**

APÊNDICE A – MATERIAIS SUPLEMENTARES **100**

ANEXO A – AUTORIZAÇÃO DA REVISTA PARA SUBMISSÃO EM REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL **101**

DADOS CURRICULARES **103**

1 TRAJETÓRIA DO PROJETO ESCOLA SUSTENTÁVEL E A CONSTRUÇÃO DA FERRAMENTA DE CERTIFICAÇÃO ESCOLAR DE SUSTENTABILIDADE E RESILIÊNCIA (CESR)

Esta dissertação é resultado de uma trajetória de pesquisa e extensão universitária iniciada em 2019, no âmbito do Projeto Escola Sustentável (PES), desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Ambiental do Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista (ICT/UNESP), em São José dos Campos (SP). A presente seção apresenta essa trajetória, contextualiza as publicações que a documentaram e explicita a transição das experiências extensionistas para a pesquisa de mestrado que culminou na proposição da ferramenta de Certificação Escolar de Sustentabilidade e Resiliência (CESR).

O PES nasceu da compreensão de que as escolas são ambientes estratégicos para a promoção da sustentabilidade, pois articulam formação cidadã, gestão de recursos e vínculo territorial com as comunidades em que se inserem. Sua concepção fundamentou-se nos princípios da extensão territorial em rede, entendida como processo colaborativo de longa duração entre universidade, poder público, escolas e sociedade civil, e não como atividade pontual (Ferreira; Pereira; Fiore, 2024). Nessa perspectiva, a atuação extensionista organizou-se em um ecossistema institucional que articulou o núcleo universitário a atores públicos, escolares e comunitários.

As principais parcerias do projeto incluíram a Prefeitura Municipal de São José dos Campos, por meio das Secretarias de Educação e Cidadania, de Saúde e de Sustentabilidade e Urbanismo, a Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP), o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) e a Diretoria de Ensino da Região de São José dos Campos. A metodologia do PES fundamentou-se nos princípios da pesquisa-ação e do Planejamento Estratégico Situacional (Gentilini, 2014), estruturada em um ciclo contínuo e reflexivo que integra diagnóstico, planejamento colaborativo, ação, monitoramento e retroalimentação.

Em 2019, a fase de implantação envolveu sete Escolas de Formação em Tempo Integral (EFETIs) da rede municipal de São José dos Campos, localizadas em diferentes zonas do território urbano, com foco inicial na gestão de resíduos sólidos (Fiore et al., 2022). As ações organizaram-se em quatro etapas sequenciais: capacitação das equipes escolares por meio de oficinas interativas, caracterização da geração de resíduos, oficinas de soluções com devolutiva dos resultados e implantação de composteiras. A caracterização revelou geração

per capita média de 100 g/hab.dia, com composição majoritariamente orgânica (57%), dados que subsidiaram a escolha das tecnologias de compostagem implantadas.

Em 2020, as restrições impostas pela pandemia de COVID-19 exigiram a migração do projeto para o formato remoto. A atuação concentrou-se na formação continuada de grupos de professores, de modo a assegurar a manutenção dos vínculos institucionais e a continuidade do processo de aprendizado coletivo. Essa adaptação evidenciou a resiliência do arranjo interinstitucional, que preservou a rede ativa mesmo diante da impossibilidade de atividades presenciais.

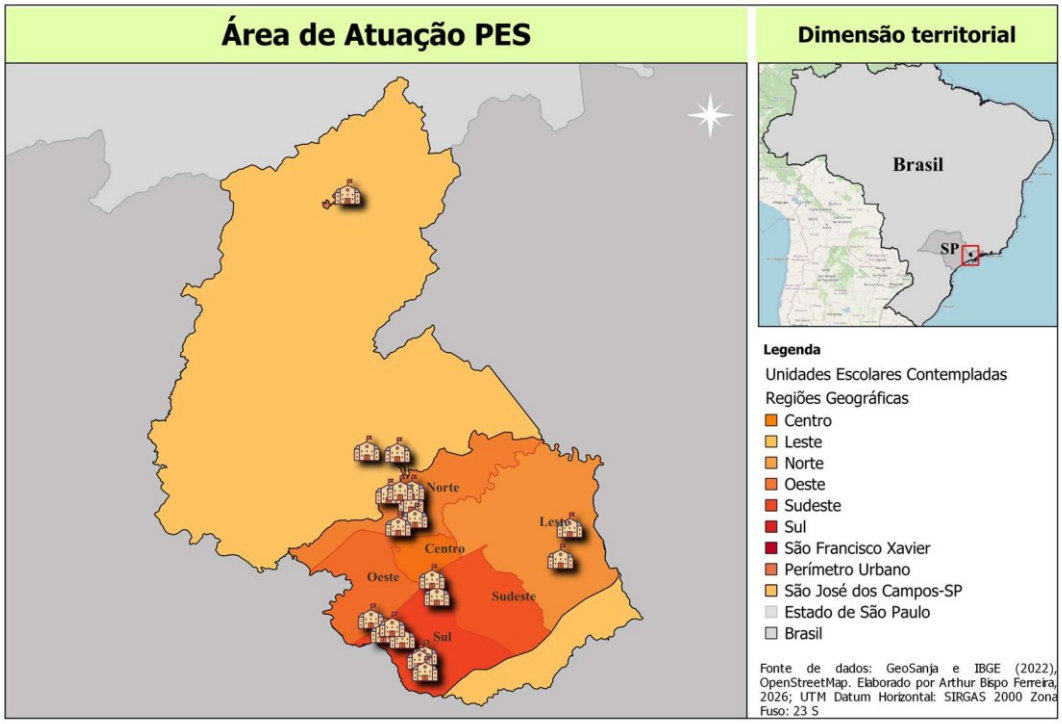
Em 2021, a vertente de pesquisa extensionista foi fortalecida, com foco em alunas do ensino médio de quatro escolas da rede estadual. Essa frente priorizou a inserção de alunas do ensino médio na ciência, por meio de Iniciações Científicas do Ensino Médio (PIBIC-EM/CNPq) e do vínculo com o Programa de Revitalização de Nascentes (PRN), voltado à melhoria da qualidade da água a partir de intervenções educacionais nas nascentes urbanas do território (PMSJC, 2006; Ferreira et al., 2023). A participação das estudantes como pesquisadoras, coletando e analisando dados de qualidade da água, consolidou o vínculo entre iniciação científica e atuação territorial.

Em 2022, o projeto desenvolveu vivências ambientais sobre uso consciente e reúso de águas, consolidando a parceria com a Diretoria de Ensino da Região de São José dos Campos. A metodologia estruturou-se em seis etapas interativas, incluindo oficinas colaborativas de planejamento, oficinas participativas com professores, diagnóstico de usos e consumo por balanço hídrico, implantação de pluviômetros e construção de soluções. Conduzido por meio das pesquisas iniciadas no PIBIC-EM, no ano anterior, o levantamento de percepção ambiental aplicado nas quatro escolas estaduais alcançou 613 respondentes e revelou que 95,3% consideravam a preservação ambiental importante, ainda que apenas 30,8% dispusessem de informação prévia sobre as Áreas de Preservação Permanente (APP) de sua região, o que viabilizou a construção de um mapa colaborativo do território (Ferreira et al., 2023).

Entre 2022 e 2023, as oficinas de capacitação passaram a incorporar conceitos da Educação para Redução de Riscos de Desastres (ERRD), articulando o monitoramento colaborativo de nascentes à leitura de vulnerabilidades socioambientais. Nesse estágio, o projeto consolidou a produção e a disponibilização pública de materiais didáticos, ampliando seu alcance para além das unidades diretamente atendidas, produzindo um ponto focal destes materiais em um sítio eletrônico (disponível em:

https://sites.google.com/unesp.br/escolasustentavel). Ao final do período analisado, o PES havia impactado diretamente um público estimado em 12.338 pessoas, entre alunos, professores, funcionários e membros da comunidade do entorno, e gerado conhecimento científico publicado em periódicos qualificados e apresentado em eventos nacionais. A Figura 1 apresenta a área de atuação do PES no município de São José dos Campos, com a distribuição das unidades escolares contempladas por região geográfica.

Figura 1 – Área de atuação do Projeto Escola Sustentável (PES) em São José dos Campos-SP



Fonte: Autores (2026).

A produção bibliográfica decorrente dessa trajetória documenta a evolução do projeto e o amadurecimento das questões de pesquisa. As primeiras vivências de educação ambiental, centradas na caracterização de resíduos sólidos nas unidades escolares, foram relatadas no 31º Congresso da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (Pereira; Ferreira; Fiore, 2021) e, posteriormente, sistematizadas em artigo na Revista Brasileira de Educação Ambiental (Fiore et al., 2022). Esses trabalhos evidenciaram o potencial pedagógico das vivências ambientais voltadas ao reconhecimento dos resíduos como porta de entrada para a Educação para a Sustentabilidade (EpS), ao mesmo tempo em que revelaram a ausência de instrumentos sistemáticos para mensurar os resultados dessas ações. Entende-se por instrumentos sistemáticos os conjuntos de indicadores, parâmetros e critérios de avaliação que permitem registrar, comparar e acompanhar ao longo do tempo o

desempenho socioambiental da unidade escolar. Essa ausência decorre do fato de os instrumentos disponíveis terem sido concebidos, em sua maioria, para o contexto corporativo ou para instituições de ensino superior, como o UI GreenMetric e o STARS (Siqueira; Ferreira; Fiore, 2023), ou, quando voltados a escolas, restringirem-se a recortes específicos (a edificação, a eficiência energética e hídrica ou as atividades educativas), sem incorporar a resiliência a eventos climáticos extremos, lacuna discutida na revisão de literatura do Artigo 1 e na introdução do Artigo 2.

Esse percurso rendeu produção acadêmica que documenta o amadurecimento das questões de pesquisa. O uso do mapeamento colaborativo como ferramenta de EpS, apresentado no 32º Congresso da ABES (Ferreira et al., 2023), ampliou o repertório metodológico do projeto para a leitura territorial participativa e articulou três frentes complementares: a coleta de parâmetros físico-químicos e microbiológicos das nascentes, o levantamento da percepção ambiental da comunidade escolar e a representação agregada desses dados em plataforma colaborativa. O contraste entre o baixo reconhecimento territorial das APP e a alta valorização declarada da preservação ambiental reforçou o potencial das escolas como agentes multiplicadores e demonstrou o valor da representação visual e participativa de dados socioambientais, aprendizado incorporado à concepção da ferramenta CESR.

Em paralelo, a investigação sobre indicadores de sustentabilidade ganhou densidade acadêmica: o estudo de caso aplicado à UNESP reconheceu e validou indicadores aplicáveis ao ensino superior (Siqueira; Ferreira; Fiore, 2023), e a pesquisa conduzida no grupo definiu indicadores aplicáveis a unidades de educação básica (Souza et al., 2024). Complementarmente, as potencialidades e fragilidades da aplicação dos princípios de EpS foram analisadas (Ferreira; Pereira; Fiore, 2024), e a articulação entre economia circular, Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e indicadores de saneamento, discutida no 21º Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (Ferreira; Sanches-Pereira; Fiore, 2024), reforçou a conexão entre a escala escolar e a agenda urbana.

Esse acúmulo revelou uma lacuna central, as escolas dispunham de ações e de indicadores de sustentabilidade, mas não de um instrumento integrado que incorporasse a resiliência a eventos climáticos extremos e que submetesse seus critérios a validação e priorização formais. O primeiro movimento para preencher essa lacuna foi a estruturação de um arcabouço conceitual de indicadores de resiliência aplicáveis a unidades educacionais, desenvolvido no âmbito deste mestrado e publicado na Revista Ibero-Americana de Estudos

em Educação (Ferreira; Olivato; Fiore, 2026), que constitui o Artigo 1 desta dissertação. O segundo movimento, apresentado no Artigo 2, integrou os indicadores de sustentabilidade (Souza et al., 2024) e o eixo de resiliência (Ferreira; Olivato; Fiore, 2026), em uma única arquitetura de avaliação, a ferramenta CESR, validada por painel de especialistas pelo método Delphi e priorizada pelas técnicas AHP e DEMATEL, com estudo conduzido em 21 escolas públicas da Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte.

Dessa forma, a pesquisa de mestrado configura-se como desdobramento natural do PES, as vivências extensionistas forneceram a identificação das problemáticas, o território e os vínculos institucionais. A pesquisa forneceu o rigor metodológico para transformar a experiência em instrumento replicável. O objetivo geral do trabalho é propor e validar uma ferramenta de certificação escolar que integre sustentabilidade e resiliência, aplicável a unidades de educação básica pública. Os objetivos específicos compreendem a estruturação de indicadores de resiliência (Artigo 1), a parametrização e validação do conjunto integrado de indicadores, a ponderação e a modelagem causal dos eixos e a proposição do esquema de certificação em patamares (Artigo 2).

A dissertação organiza-se em formato de compilação de artigos, organizado em quatro capítulos. O Capítulo 1 recupera a trajetória e o contexto da pesquisa. O Capítulo 2 corresponde ao Artigo 1, publicado na Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação. O Capítulo 3 corresponde ao Artigo 2, que propõe e valida a ferramenta CESR e será submetido a periódico internacional. O Capítulo 4 sintetiza as contribuições do conjunto, suas limitações e as perspectivas de continuidade.

Cabe esclarecer a opção por não incluir, nesta dissertação, um capítulo autônomo de revisão sistemática e de fundamentação teórica. No formato de compilação de artigos, esses elementos integram os próprios artigos: o Artigo 1 apresenta a fundamentação teórica na seção Literature Review (conceitos de risco, desastre socioambiental, sustentabilidade e resiliência; marcos internacionais de redução de riscos de desastres; lacuna metodológica dos instrumentos de avaliação) e relata, na Etapa 1 do método, duas revisões de literatura nas bases Scopus e Web of Science (2018–2023 e 2019–2023, respectivamente), uma pelo Archival Research Method, com amostra final de 102 artigos, e outra pelo protocolo PRISMA; o Artigo 2, por sua vez, situa a proposta frente às ferramentas de avaliação da sustentabilidade escolar (LEED Schools, BREEAM Education, AQUA-HQE, Eco-Schools, CST e SBTool/SAHSBPT) e aos métodos Delphi, AHP e DEMATEL. O conhecimento sobre indicadores de sustentabilidade escolar encontra-se estruturado e disponível, embora disperso:

predominam instrumentos concebidos para o contexto corporativo ou para o ensino superior e, para a educação básica, iniciativas recentes e restritas a recortes específicos, sem incorporação da resiliência, o que caracteriza o ecossistema de pesquisa em que este trabalho se insere e justifica a opção metodológica adotada.

1.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver e validar uma ferramenta de certificação de desempenho ambiental aplicável a unidades educacionais públicas, a Certificação Escolar de Sustentabilidade e Resiliência (CESR), que integre indicadores de sustentabilidade e de resiliência, de modo a estabelecer as escolas como referência local de qualidade ambiental e apoiar a construção de comunidades sustentáveis e resilientes.

A parametrização e a validação foram conduzidas em escolas públicas municipais e estaduais, urbanas e rurais, que atendem aos anos finais do ensino fundamental e ao ensino médio, de modo que a ferramenta se aplica, nesta versão, a essas etapas da educação básica na rede pública; sua extensão a escolas privadas e ao ensino superior, nível que já dispõe de instrumentos consolidados (Siqueira; Ferreira; Fiore, 2023), exige nova parametrização e validação.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para alcançar o objetivo geral, definem-se os seguintes objetivos específicos:

a) estruturar um arcabouço conceitual e metodológico de indicadores de resiliência aplicáveis a unidades educacionais, no âmbito da Educação para Redução de Riscos de Desastres (ERRD);
b) sistematizar e adaptar os indicadores de sustentabilidade identificados em pesquisas anteriores, integrando-os ao novo eixo de resiliência, para garantir sua eficácia e relevância no contexto escolar atual;
c) parametrizar o conjunto integrado de indicadores a partir da caracterização de escolas públicas urbanas e rurais da Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte (RMVPLN), definindo parâmetros representativos e mensuráveis ao contexto nacional;

d) validar e priorizar os indicadores por meio de painel de especialistas (método Delphi) e de técnicas de Apoio Multicritério à Decisão (AHP e DEMATEL), estabelecendo a ponderação dos eixos e suas relações causais;
e) descrever os patamares progressivos de sustentabilidade e resiliência e propor a ferramenta customizável de avaliação de desempenho e certificação de escolas sustentáveis e resilientes.

Os objetivos específicos circunscrevem-se à concepção, à parametrização, à validação e à priorização da ferramenta. A aplicação piloto da CESR em unidades escolares ao longo de um ciclo letivo completo e a avaliação de sua usabilidade, do tempo de preenchimento e da completude dos dados não integram o escopo desta dissertação; constituem a etapa subsequente da pesquisa, prevista entre as propostas de trabalhos futuros do Artigo 2 e nas perspectivas do Capítulo 4.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação de mestrado tem como base um artigo publicado, reproduzido no Capítulo 2 na diagramação final do periódico, e uma minuta de artigo (Capítulo 3), finalizada com as contribuições da banca examinadora, que será encaminhada para publicação na revista *Sustainable Cities and Society* (SCS).

PRIMEIRO ARTIGO:

"Structuring resilience indicators applicable for educational institutions: a conceptual framework for climate adaptation and management"

FERREIRA, A. B.; OLIVATO, D.; FIORE, F. A. Structuring resilience indicators applicable for educational institutions: a conceptual framework for climate adaptation and management. **Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação (RIAEE)**, Araraquara, v. 21, e19449, 2026. e-ISSN: 1982-5587. DOI: https://doi.org/10.21723/riaee.v21i00.1944902. Publicado em 2026, em acesso aberto (licença CC BY 4.0).

SEGUNDO ARTIGO:

"Proposição e validação de ferramenta integrada de Certificação Escolar de Sustentabilidade e Resiliência (CESR)"

FERREIRA, A. B.; FIORE, F. A. Proposição e validação de ferramenta integrada de Certificação Escolar de Sustentabilidade e Resiliência (CESR). Minuta de artigo a ser submetida à revista **Sustainable Cities and Society**, 2026.

2 *STRUCTURING RESILIENCE INDICATORS APPLICABLE FOR EDUCATIONAL INSTITUTIONS: A CONCEPTUAL FRAMEWORK FOR CLIMATE ADAPTATION AND MANAGEMENT*

Nota: este capítulo reproduz, em seu formato original, o artigo publicado na Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação (RIAEE). Foram mantidas a diagramação, as normas editoriais, a numeração de figuras e quadros e a lista de referências do periódico. O artigo foi submetido em 3 de julho de 2024 e aprovado em 13 de abril de 2026. Seu título em português é "Estruturação de indicadores de resiliência aplicáveis a unidades educacionais: uma proposta de referencial para gestão e adaptação climática".

Referência: FERREIRA, Arthur Bispo; OLIVATO, Débora; FIORE, Fabiana Alves. Structuring resilience indicators applicable for educational institutions: a conceptual framework for climate adaptation and management. **Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação**, Araraquara, v. 21, e19449, 2026. e-ISSN: 1982-5587. DOI: https://doi.org/10.21723/riaee.v21i00.1944902.

Licença e direitos autorais: artigo de acesso aberto distribuído sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0). A licença permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que a obra original seja devidamente citada (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). A reprodução integral neste capítulo é feita nos termos dessa licença, com a atribuição indicada na referência acima. O conteúdo e a diagramação do artigo não foram alterados. As únicas intervenções nas páginas foram a inclusão do número de página da dissertação e a redução de escala (86% na primeira página e 94% nas demais) para atender à margem de encadernação.

Paginação: as 32 páginas seguintes (p. 21 a 52 desta dissertação) mantêm o rodapé original do periódico, com "Rev. Ibero-Am. Estud. Educ., 21, e19449, 2026" e a numeração "1/32" a "32/32". Essa numeração se refere apenas ao artigo. A numeração sequencial da dissertação aparece no canto superior direito de cada página. As páginas do artigo são reproduzidas em escala reduzida (86% na primeira página e 94% nas demais), sem qualquer alteração de conteúdo, preservando-se a margem de encadernação (3 cm, à esquerda) exigida pelo Programa.

Material suplementar: os Materiais Suplementares 1 a 5 citados no artigo são: 1. Questionários; 2. Boxplots dos resultados; 3. Análise estatística; 4. Mapas mentais referentes aos ODS; 5. Conformação indicadores Sustentabilidade × ODS. Eles acompanham o artigo publicado e podem ser acessados em https://doi.org/10.21723/riaee.v21i00.1944902 (p. 32/32).

ISSN 1982-5587

Research articles

Structuring resilience indicators applicable for educational institutions: a conceptual framework for climate adaptation and management

Estruturação de indicadores de resiliência aplicáveis a unidades educacionais: uma proposta de referencial para gestão e adaptação climática

Arthur Bispo Ferreira[1]*, Débora Olivato[2], Fabiana Alves Fiore[3]

[1]Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGCA), Bauru, SP, Brasil
[2]Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), Programa Cemaden Educação, São José dos Campos, SP, Brasil
[3]Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia – ICT, Departamento de Engenharia Ambiental, São José dos Campos, SP, Brasil

HOW TO CITE: FERREIRA, A. B.; OLIVATO, D.; FIORE, F. A. Structuring resilience indicators applicable for educational institutions: a conceptual framework for climate adaptation and management. **Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação**, Araraquara, v. 21, e19449, 2026. e-ISSN: 1982-5587. DOI: https://doi.org/10.21723/riaee.v21i00.1944902

Abstract

Disaster Risk Reduction Education (DRRE) is strategic for addressing land-use patterns that intensify vulnerabilities to extreme climate events. School units possess a high potential for producing knowledge on disaster risk reduction and for promoting resilient communities; however, they lack systematized frameworks to guide the organization and analysis of these actions. This study aims to structure a conceptual and methodological framework for organizing school resilience indicators within the scope of DRRE. The qualitative research was structured through a systematic literature review, the PRISMA protocol, document analysis of public policies, and validation with stakeholders. As a result, a classification into four categories is proposed: assessment, capacity building, monitoring, and preservation/conservation. This structure underpins the development of assessment tools for resilience-oriented educational practices, serving as a foundational framework for administrators to incorporate climate adaptation into the daily school routine.

Keywords: resilience indicators; school units; environmental education; risk reduction; socio-environmental disasters.

Resumo

A Educação para Redução do Risco de Desastres (ERRD) é estratégica para enfrentar padrões de ocupação do território que intensificam vulnerabilidades aos eventos climáticos extremos. As unidades escolares possuem elevado potencial para a produção de conhecimento em redução de riscos de desastres e para a promoção de comunidades resilientes, entretanto, carecem de referenciais sistematizados que orientem a organização e análise dessas ações. Este trabalho teve como objetivo estruturar um referencial conceitual e metodológico para a organização de indicadores de resiliência escolar no âmbito da ERRD. A pesquisa qualitativa estruturou-se por meio de revisão sistemática da literatura, protocolo PRISMA, análise documental de políticas públicas e validação com atores sociais. Como resultado, propõe-se uma classificação em quatro categorias: avaliação, capacitação, monitoramento e preservação/conservação. Essa estrutura fundamenta o desenvolvimento de instrumentos de avaliação de práticas educacionais voltadas à resiliência, sendo referencial de subsídios para gestores incorporarem a adaptação climática no cotidiano escolar.

Palavras-chave: indicadores de resiliência; unidades escolares; educação ambiental; redução de riscos; desastres socioambientais.

***Corresponding author:**
arthur.ferreira@unesp.br

Submitted: July 3, 2024
Reviewed: April 10, 2026
Approved: April 13, 2026

Ethics committee approval: CAAE: 85119624.2.0000.0077. Process Number: 7.300.573.

Data availability: The research data are available only upon request. Study conducted at Universidade Estadual Paulista (UNESP), São José dos Campos, SP, Brasil.

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

INTRODUCTION

One of the greatest challenges of modern society is achieving a balanced relationship between human activities and the natural environment (Miedijensky; Abramovich, 2019). Framed within the concept of sustainable development, this demand highlights the need to meet present needs without compromising the ability of future generations to meet their own (Brundtland, 1987), while promoting balanced interactions among the economic, social, and environmental dimensions - the pillars of sustainability, also known as the triple bottom line (Elkington; Rowlands, 1999).

However, the current model of economic development moves in the opposite direction and has proven to be increasingly unsustainable, as evidenced by the ongoing degradation of the environment and its ecosystems. This trend is largely driven by human activities linked to the development and expansion of urban areas (Calzada-Infante et al., 2020). High levels of greenhouse gas (GHG) emissions resulting from current patterns of production, consumption, and population growth intensify climate change, leading to shifts in the frequency and magnitude of extreme events and causing catastrophic impacts on human and natural systems (Pattison; Henke; Pumilio, 2021; Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022).

Extreme meteorological events tend to increase due to climate change, exposing cities and urban areas to disaster risks. Such events should not be regarded as purely natural, as they are triggered by socio-environmental factors that represent elements of risk, with a greater likelihood of affecting socioeconomically or sociodemographically vulnerable groups (Sulaiman; Aledo, 2016). The concept of risk is presented as a function of: the hazard, a natural or anthropogenic phenomenon (e.g., tornadoes, volcanoes, river floods, dam failures, radioactive irradiation) with the potential to cause damage; the exposure of people and assets to this hazard; and the vulnerability conditions of exposed populations and assets (United Nations International Strategy for Disaster Reduction, 2012).

Thus, disasters, now understood as socio-environmental, result from social processes of land use and occupation that generate risks by exposing the communities to natural or technological hazards, or to the combination of cascading events, with impact intensity related to local vulnerability conditions. Socio-environmental disasters cause more severe effects on poor communities within urban peripheries concentrated in risk areas and on vulnerable communities that depend on land for subsistence, making them more vulnerable to climate change (Trajber, 2019).

As a way to minimize current problems and transform society in order to guarantee human well-being, economic prosperity, and environmental protection, the Sustainable Development Goals (SDGs) were established. They consist of 17 goals and 169 targets aimed at addressing the main development challenges on a global scale and guiding the achievement of sustainable development (United Nations, 2015). The SDGs highlight that resilience and disaster risk reduction must be incorporated into urban planning and strategies to achieve sustainable development, supported by strong alliances and broad public participation (United Nations International Strategy for Disaster Reduction, 2012).

For the transition from the current model to a sustainable society to occur, changes in cultural and social habits and values are necessary across civil society, the business sector, public authorities responsible for decision-making, and citizens in general. Sustainability is presented as a basic and integrative criterion that enables the identification of new directions, permanently stimulating ethical responsibility and a break with the current development pattern. This criterion is directly related to SDG 4, which addresses inclusive education as one of the main ways to ensure minimization of current problems. Education is decisive in guiding societies toward changes that will result in a sustainable future, considering environmental education as a key tool to address global socio-environmental issues (Agirreazkuenaga, 2019).

In Brazil, the National Environmental Education Policy (PNEA), Law No. 9,795/99, reinforces the importance of education and defines environmental education as the process by which individuals and collectives develop values, knowledge, skills, and competencies focused on the environment, considering the interdependence among natural, socioeconomic, and cultural dimensions (Brasil, 1999). In terms of definitions and guidelines, PNEA converges with SDG

13, which emphasizes the need to adopt urgent measures to combat climate change and its impacts and reinforces the importance of addressing resilience and adaptive capacity regarding risks and extreme events (Jacobi, 2006; United Nations, 2015).

Brazilian schools, distributed in a capillary manner throughout the national territory, have unique strategic potential. Schools are ideal environments to implement sustainability actions, as they can expand environmental and behavioral interventions at the population level. This scenario is possible due to the ethnic and socioeconomic diversity of the populations served by these institutions (Fathi et al., 2023). Additionally, the territorial dispersion of these units, as well as compulsory enrollment in some countries, ensures that most citizens pass through these institutions during at least one phase of their lives (Kim; Go, 2020). Such aspects turns schools into strategic points for the diffusion of sustainable practices across different social contexts. Thus, students become more aware of their environmental impacts and help transform attitudes at the local level (Santos et al., 2022).

Sustainable and resilient educational spaces are intentionally designed to educate by example and to radiate their influence to the communities in which they are inserted. The transition to sustainability in schools is promoted via three interrelated dimensions—physical space, management, and curriculum—and by means of a commitment to meet practices identified as necessary to confront climate change, since, through their pedagogical work, they create conditions to promote a culture of socio-environmental sustainability (Brasil, 2013, 2014). Schools are presented by Trajber and Sato (2010) as incubators of change—places where permanent and continuous educational processes are developed, capable of sensitizing individuals and communities to the construction of knowledge, values, skills, attitudes, and competencies aimed at building an environmentally just and sustainable society (Moreira, 2012).

At the national and state levels, the promotion of sustainability in schools has been guided since 2015 by the National Articulation of Public Policies for Environmental Education (ANPPEA). It is composed of actors and segments recognized as formulators, proponents, and executors of Public Policies for Environmental Education (PPEA). With the objective of evaluating actions and public policies aimed at meeting the SDGs, ANPPEA conceived the Brazilian System for Monitoring and Evaluation of Public Policies for Environmental Education (Monitora EA), a platform that constitutes a research and evaluation instrument for consolidating public policies in the school environment via indicators (Vieira; Campos; Morais, 2021). Environmental indicators are crucial components of tools that may include quantitative or qualitative parameters to determine whether objectives are being effectively pursued or have been achieved and, like photographs, are capable of portraying aspects of social reality. They are used both for academic research and for the formulation and improvement of public policies (Jannuzzi, 2009).

There have been notable advances in initiatives that promote and monitor sustainability in schools toward achieving the SDG targets in terms of public policies. However, although various sustainability assessment tools for school units exist, such as A3P, Eco Schools, Escola Sustentável, GRI, and LEED Schools (United States Green Building Council, 2007; Eco-Schools, 2021), these assessment systems were not designed to include resilience indicators (Roostaie; Nawari; Kibert, 2019).

Given the need to reduce or avoid factors that represent threats, risks, and conditions of vulnerability to socio-environmental disasters inherent to the organization of cities, it is essential to promote environmental education, especially DRRE (Selby; Kagawa, 2012). The adoption of adequate tools that enable the evaluation of actions contributing to progress toward the SDGs and to the achievement of resilience in school environments, which still lack suitable instruments, is also necessary. In light of this, this study proposes a set of resilience indicators applicable to educational institutions in Brazil, considering practices in projects, actions, environmental initiatives, and campaigns.

LITERATURE REVIEW

Human activities, mainly GHG emissions, cause global warming, with Earth's surface temperature increasing by 1.1°C from 1850-1900 to 2011-2020 (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014). The future scenario remains characterized by extreme events resulting from climate change and by an increase in the frequency and intensity of socio-environmental disasters (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022). Measures to confront this situation include key international milestones in recognizing disaster risk reduction actions, such as campaigns and global discussions concerning the current economic development model (Matsuo; Silva, 2021; Brasil, 2021), highlighted in Figure 1.

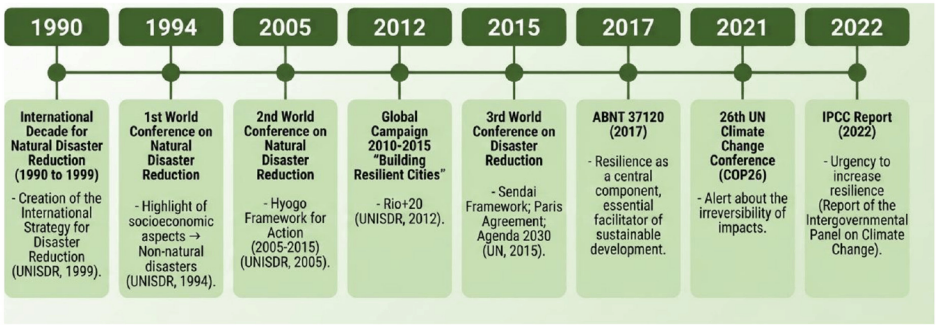


Figure 1. Timeline of international frameworks for DRRs.

The debate on the impacts of and responses to extreme events began at the United Nations (UN) General Assembly with the launch of the International Decade for Natural Disaster Reduction (United Nations, 1989). A few years later, the First World Conference on Natural Disaster Reduction underscored the influence of socioeconomic aspects on the occurrence of disasters (United Nations International Strategy for Disaster Reduction, 1994), during which scientists and researchers defended the idea that disasters are not natural (Brasil, 2021). At the Second World Conference, the theme of resilience was emphasized in the Hyogo Framework for Action (United Nations International Strategy for Disaster Reduction, 2005) as a means of confronting extreme events. The emphasis on this theme continued with the Global Campaign: Making Cities Resilient (United Nations International Strategy for Disaster Reduction, 2012) and in discussions at the UN Conference on Sustainable Development (Rio+20) (United Nations International Strategy for Disaster Reduction, 2012). This series of discussions culminated in the creation of the Sendai Framework, the Paris Agreement, and the 2030 Agenda (United Nations, 2015).

Despite these milestones, global GHG emissions have continued to increase and result from unsustainable energy use, land-use and occupation dynamics, lifestyles, and patterns of production and consumption that vary across regions, countries, within them, and among individuals. As highlighted at the 26th UN Climate Change Conference (COP26) in 2021, the environmental impacts of human activities are approaching a point of irreversibility. Extremely urgent efforts to increase resilience, in both international and national contexts, as prioritized in the Hyogo Framework for Action, must be presented as a central and essential facilitator of sustainable development, as well as a possible path to change the current scenario (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2017; Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022).

Sustainability and resilience are related concepts but focus on different areas. While the former is more commonly understood in terms of outcomes of defined objectives, the latter refers to processes that ensure their achievement (Winnard; Lee; Skipp, 2018). Although the general principle of sustainability is to ensure the reduction of negative environmental impacts in order to avoid changes, resilience addresses adaptation to changes arising from these impacts. Resilience has gained greater prominence in academic literature, government regulations, and private and non-governmental organizations in recent years (Roostaie; Nawari; Kibert, 2019).

The concept of resilience has different definitions given its applications in various fields of knowledge. Originating in the field of materials engineering and physics, it was initially defined as the ability of a material to return to its initial condition after a disturbance or deformation (Yunes, 2001; Trajber, 2019). In organizational terms, or organizational resilience, it is defined as a combination of the capacity to continue operating during disruptions and the intrinsic capacity to recover and adapt in order to proactively develop new skills and resources (Winnard; Lee; Skipp, 2018).

Despite the diversity of definitions, resilience encompasses the adaptive capacity and the ability of a system and its components to anticipate, absorb, accommodate, or recover efficiently from harmful events, while ensuring the preservation, restoration, or improvement of its basic functions (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2017; Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014). In the field of disasters, resilience is related to the capacity of a system (community or society) to resist, absorb, adapt, transform, and recover when exposed to a hazard, in the face of impacts on processes and extreme events, grounded in risk management (United Nations International Strategy for Disaster Reduction, 2016).

Considering the broadening of this concept, it is possible to state that a resilient city or community is a space capable of preparing for, recovering from, and adapting to hazards, shocks, and stresses involving extreme events, whether natural or human-induced (floods, volcanic eruptions, spills, chemical explosions, etc.), resulting in injuries and loss of life (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2021). Such urban environments capable of managing and minimizing continuous human and natural tensions that generate environmental degradation, social inequality, and economic instability. As a comprehensive and widely accepted definition, resilience is understood as the capacity of social, economic, and environmental systems to cope with a hazardous event, trend, or disturbance, responding or reorganizing in ways that sustain their essential functions, identity, and structures, while also maintaining capacity for adaptation, learning, and transformation (United Nations Framework Convention on Climate Change, 2023).

The preparation of a resilient city can be achieved by developing a detailed understanding of risks to which communities are exposed and by taking measures to reduce vulnerabilities and exposure to threats, enhancing awareness and participation of the various social actors involved. The transition to resilient cities is based not only on technological and social innovations but also on the urgency of putting already acquired knowledge into practice, while developing new knowledge toward fostering, in current and future generations, reflective thinking open to construction and reconstruction, in a continuous process of new possibilities for action in favor of developing sustainable and resilient societies, induced by Environmental Education (EE) practices (Jacobi, 2006; Trajber, 2019; Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2021).

In cities, one alternative presented is the local transition that begins in neighborhoods and communities. In this transition, education appears as an essential element for creating and strengthening a culture of risk prevention, especially DRRE, which considers the consequences of disasters on a regional, national, and global scale (Alcântara; Sampaio, 2021; Matsuo; Silva, 2021). Although not restricted to formal education spaces, EE and DRRE practices have high potential to promote the transition of communities toward resilience when embedded in school environments, given that some schools across all regions of Brazil are located in risk areas. Marchezini, Muñoz and Trajber (2018), in a preliminary study, point out that 2,438 schools monitored by the National Center for Monitoring and Early Warning of Natural Disasters in Brazil are located in areas at risk of hydrological and/or geological disasters, 74% of which are public schools, with more than three million individuals connected to these areas. As highlighted in the National Policy on Climate Change (PNMC), it is the responsibility of the Union, states, and municipalities to establish safety measures against disasters in schools and hospitals located in risk areas identified by the UN, since these are places designated as possible shelters in disaster situations (Viana; Johnsson, 2017).

This diagnosis highlights the urgency of public policies aimed at strengthening school communities for resilience, as they can be spaces for the production of DRRE knowledge

based on their local context, experiences, and vulnerability to disaster risks. Thus, within the scope of cities, effective DRR implies decision-making grounded in knowledge about risks and investment in resilience, which, in turn, requires comprehensive information on climate and disaster risks, innovation, and stronger links between science and policies (Matsuo; Silva, 2021; Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022), and schools must be integrated into this context.

Brazilian schools, distributed in a capillary manner throughout the national territory, present unique strategic potential. They function as centers of community convergence and hubs for the production of formal and informal knowledge (Matsuo; Silva, 2021). However, a significant methodological gap persists: most available sustainability indicators were designed for the corporate context or for higher education institutions (HEIs). As demonstrated by Siqueira, Ferreira and Fiore (2021), measuring sustainability in universities already relies on robust systems such as the UI GreenMetric and the THE Impact Rankings, which assess infrastructure, research, and extension from an institutional self-certification perspective.

The challenge lies in the transposition of these metrics. Global university sustainability rankings often prioritize investments in advanced technology and centralized administrative management; realities far removed from most public elementary and secondary schools. While the focus in HEIs is on strategic management of large campuses and cutting-edge scientific production, resilience in basic education requires a focus on the scale of daily life, on playfulness, on the immediate physical protection of students, and on integration with local civil defense (Siqueira; Ferreira; Fiore, 2021).

The need for a framework that supports the creation of adaptable tools is evident, recognizing that the school is the first line of defense for a community facing risk. Policymakers lack tools to identify which interventions are most important to implement and evidence to show how specific interventions and policies help or hinder progress toward established objectives (Nilsson; Griggs; Visbeck, 2016). In this context, the participation of the interested community and collective public policy action promote local strengthening and the continuity of processes aimed at achieving lasting and equitable effects (Biasoli; Sorrentino, 2018).

The evaluation of the quality of public education policies must verify the context in which they are implemented in the process of citizen formation, based on indicators to systematically analyze or monitor related educational processes and the alignment of objectives with policies (Holst et al., 2020). However, assessment tools for school practices are restricted to sustainability (Roostaie; Nawari; Kibert, 2019), either adding resilience issues to this concept or addressing them only incipiently, rather than in terms of DRR. This fact can be understood as a reflection of national and state public policies for tackling climate change, which have not yet broadly established a reference framework for evaluating actions toward resilience within their institutions. Furthermore, a common understanding of resilience and sustainability in terms of meanings and common objectives has not yet been established (Winnard; Lee; Skipp, 2018).

Given this scenario, the importance of establishing a framework that enables a more in-depth evaluation of how local contexts are created and evolve in policy and decision-making at the project level is justified (Lizarralde et al., 2015), which must occur within the school setting. For this purpose, the use of indicators becomes indispensable, as they enable the assessment of the progress of actions regarding the proposed objectives and may include parameters representative of actions that are effectively applicable to schools, representing progress in resilience toward DRR, with the aim of building sustainable and resilient cities and communities.

METHOD

This study is a qualitative research (Yin, 2016), developed in 7 interactive and complementary stages, as shown in Figure 2.

Stage 1 consisted of two literature reviews in the Scopus and Web of Science databases, contemplating publications from 2018 to 2024. The first review sought to identify concept

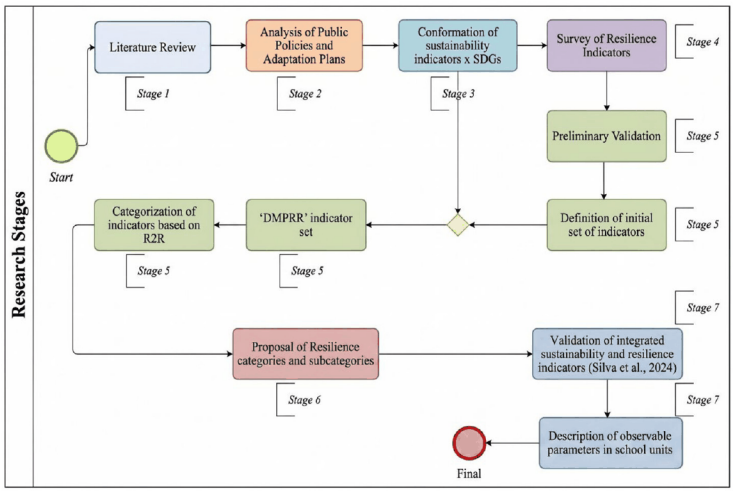


Figure 2. Research stages.

definitions, main indicators, and resilience parameters in the context of formal and non-formal education, using the Archival Research Method (Searcy; Mentzer, 2003), covering the period from 2018 to 2023. The second review consisted of a systematic analysis of the literature on tools and strategies for assessing sustainability in school units, based on the Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses (PRISMA) method (Page et al., 2021), covering the period from 2019 to 2023.

Stage 2 consisted of a documentary and content analysis (Bardin, 2011; Silva; Fossa, 2015) at the national and state levels, examining resilience approaches in legislation, policies, and plans for adaptation to and mitigation of climate change. The objective was to verify convergences among regional principles, objectives, guidelines, and instruments in the context of risk scenarios and their corresponding approaches (Brasil, 2021). The identified elements were organized into an interaction matrix using Microsoft Excel (Microsoft, 2019; Andrade, 2021) to describe resilience indicators at the regional scale.

In Stage 3, the sustainability indicators applicable to school units, proposed by Souza et al. (2024), were associated with the SDGs based on their contribution to the targets. To this end, the SDGs were organized into mind maps, elaborated using yEd 3.23.1 (2023) to support the analysis and presentation of each SDG target (Marques, 2008). The maps were compared with an indicator matrix structured in an Excel pivot table, enabling the conversion of multicategorical qualitative data into a binary classification and analysis system (Santos, 2004), in which '0' represents non-contribution and '1' represents effective contribution of the indicator to the target, and consequently its alignment with the SDG. The system and classification results were validated via expert consultation using a priori peer validation (Vasconcelos, 2021).

In Stage 4, resilience indicators were identified by means of a documentary analysis of international reports, booklets, technical manuals, and books published from 2010 to 2025, addressing themes related to DRR. Based on Moreira (2005), the following steps were undertaken: collection and organization of the material; critical document analysis—including characterization, description, and considerations; note-taking; and identification of recurring terms and actions highlighted as essential for achieving resilience, which comprised the first sample of indicators.

Stage 5 was conducted through five successive rounds of preliminary validation, aiming to refine the set of indicators. This process involved the exclusion, grouping, and progressive restructuring of the initially identified indicators. In the first round, the indicators were analyzed for alignment with the PNMC and the priority actions of the Sendai Framework (Brasil, 2009; United Nations International Strategy for Disaster Reduction, 2015), and those that showed no correlation with these references were excluded. In the second round, they were linked to the SDGs related to resilience, considering their convergence with sustainability indicators

identified in Stage 3. In the third round, indicators were organized into a three-dimensional matrix based on the Dimension-Monitoring-Preparedness-Response/Recovery (DMPRR) structure, adapted from the Pressure-State-Response model (Organisation for Economic Co-operation and Development, 1994) and grounded in Fidalgo (2003). This matrix enabled thematic regrouping into categories and subcategories of resilience actions.

In the final rounds, the reorganized set was validated in accordance with attributes of the Race to Resilience (R2R) Campaign (United Nations Framework Convention on Climate Change, 2023), criteria established by ISO 37122 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2020), and principles proposed by Santos (2004), with adaptations relevant to the school context. Finally, indicators underwent consultation with social actors (such as school managers and educators) to verify their applicability in school units. The validation process adopted quality criteria based on the integration of the evaluation parameters set forth in NBR ISO 37122 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2020) and the 27 quality criteria for indicators proposed by Santos (2004), consolidated into a framework comprising three newly defined quality criteria.

The criteria adopted in the indicator validation process were organized into three axes: 'Origin and data collection,' 'Interpretation and information,' and 'Characteristics and properties.' The first two axes were evaluated based on binary criteria, classified as "Meets" or "Does not meet." The 'Characteristics and properties' axis considered the level of convergence of the indicator, the type of relationship it reflects (deterministic, random, strategic, or uncertain), and its nature (descriptive or prescriptive). Based on this validation, the final sample of indicators, organized into categories, was submitted to consultation with social actors to identify actions, strategies, and practices that demonstrate the progress of school units toward resilience.

In order to identify resilience actions implemented and/or currently underway in school units, and thus validate the proposed categories and subcategories of resilience indicators, a survey was conducted using a structured questionnaire administered via Google Forms (Groves et al., 2009, Prabawa-Sear; Dow, 2018). For the purposes of this research, the target audience (i.e., the validating agents) was selected based on their knowledge and experience in the field of study, as well as their professional relevance on the topic (Musa et al., 2015). Therefore, the following social actors were considered: teachers; principals; pedagogical coordinators; employees of municipal departments; and researchers and/or professors from other institutions.

Stages 6 and 7 involved participatory validation of the proposed categories and subcategories of resilience indicators (Stage 6) and revalidation of sustainability indicators (Stage 7) with the inclusion of resilience as a new axis. In both stages, an online survey (Google Forms) was administered using a structured questionnaire directed at agents with experience and involvement in EE, Education for Sustainability (EfS), and/or DRRE (Groves et al., 2009; Musa et al., 2015; Prabawa-Sear; Dow, 2018). The questionnaire was organized so that validators could indicate, on an adapted Likert scale based on the R2R campaign, the recognition or non-recognition of verifiable actions in school units that directly or indirectly contribute to the achievement of resilience. This assessment was grounded in a prior presentation of the concepts of indicators and resilience (Likert, 1932; Loureiro, 2003; Jannuzzi, 2009; United Nations Framework Convention on Climate Change, 2023), followed by the presentation of proposed categories, subcategories, and activity objectives related to the resilience indicators. Additionally, respondents were invited to freely describe practical actions they considered representative of the indicators. These actions were categorized and systematized by means of content analysis (Bardin, 2011; Silva; Fossá, 2015).

In Stage 6, participants evaluated observable actions in schools that contribute to resilience, based on the proposed categories, subcategories, and indicator objectives. The open-ended responses were analyzed by means of content analysis (Bardin, 2011), enabling systematization of representative practices. In Stage 7, indicators were evaluated based on the criteria synthesized in Stage 5, presented in expanded form to support validation. It should be noted that, prior to the validation process, the research was approved by the Ethics Committee (Opinion No. 85119624.2.0000.0077). Questionnaires used for validation in Stages 6 and 7 are available as Supplementary Material 1.

To assess the results of Stage 6, textual responses associated with the Likert scale were converted into their corresponding numerical values (0 to 4). A descriptive statistical analysis

was then performed to characterize the sample and distribution of responses. The relative frequencies of categorical variables (participants' relationship with EE, EfS, or DRRE; type of relationship; type of school; and state of practice) and measures of central tendency and dispersion for ordinal variables were estimated. The results were graphically presented by boxplots, available as Supplementary Material 2.

The association between the different categories of indicators was investigated using Spearman's rank correlation coefficient (ρ), which is appropriate for ordinal variables or for data that do not meet the assumptions of normality (Hines; Montgomery; Goldsman, 2000). Additionally, the internal consistency of the set of indicators was assessed using Cronbach's alpha coefficient, widely used to verify the reliability of instruments composed of multiple items (Cronbach, 1951). This analysis allowed for the evaluation of whether the information, definitions, and concepts presented, along with the questionnaire and scale structure, were sufficient to ensure correct interpretation of the questions.

Normality of distributions was verified using the Shapiro-Wilk test. Given the ordinal nature of the data and non-compliance with normality assumptions, non-parametric tests were chosen for subsequent inferential analyses. To verify the existence of statistically significant differences in the level of recognition among the four indicator categories—Assessment, Capacity Building, Monitoring, and Preservation/Conservation—the Friedman test was employed (Liu; Xu, 2022). This test is appropriate for paired comparisons among multiple variables measured in the same individuals, thus enabling the analysis of whether one of the four categories is more widely recognized among specialists. In this case, the null hypothesis (H_0) that there are no statistically significant differences in the evaluation of the resilience indicator categories was tested. The significance level adopted was $\alpha = 0.05$.

To investigate possible differences in the perception of applicability of indicators among different segments of the school community and specialists, participants were classified into three groups according to their relationship with school units: (i) School Management, including principals and coordinators; (ii) Teachers; and (iii) Department/Researcher, comprising professionals linked to education departments or academic research. For each of the four indicator categories, scores among these groups were compared using the non-parametric Kruskal-Wallis test (Hines; Montgomery; Goldsman, 2000), which is suitable for comparisons among independent groups when data do not follow a normal distribution. This test assesses the null hypothesis that score distributions are equivalent among analyzed groups. The significance level adopted was $\alpha = 0.05$. All statistical analyses were performed in the Python programming environment, with the aid of the pandas, scipy, matplotlib, and seaborn libraries. This script will be available as Supplementary Material 3, ensuring transparency, traceability, and reproducibility of the analytical process.

For the Stage 7 data analysis, a consultation with four specialists, selected based on their professional activity associated with each of the indicator axes (Physical Structure, Education for Sustainability, Management, and Resilience), was conducted to identify practices, actions, projects, and forms of quantifying metrics and criteria for the assessment of school sustainability and resilience. The instrument used a five-point Likert scale to measure perceptions of applicability and relevance of the indicators, as well as open-ended questions that enabled for qualitative comments. Responses were analyzed descriptively and by means of content analysis (Bardin, 2011), seeking to identify convergences, divergences, and suggestions for improvement. This provided a brief deepening of the understanding of the pertinence and applicability of sustainability and resilience indicators in the school context, from the perspective of key actors with different positions in the educational system. Additionally, the results of this stage outlined clear and objective metrics, translated into practical actions to evaluate schools in terms of sustainability and resilience.

RESULTS AND DISCUSSION

The main results obtained in each stage of the project are presented as follows. It should be noted that mind maps, pivot tables, and questionnaires applied are available as Supplementary Material in their full versions and can be accessed via hyperlinks throughout the text.

Bibliographic review and documentary analysis

From the first systematic literature review, a final sample of 102 scientific articles was selected for full reading. The systematization of the literature allowed for the development of an initial proposal of resilience indicator categories specific to school units, adopted as foundational elements to structure the assessment of school performance in climate change adaptation and resilience-strengthening measures, since they can be translated into practical and measurable actions. Figure 3 indicates the categories and their respective publication frequencies per year.

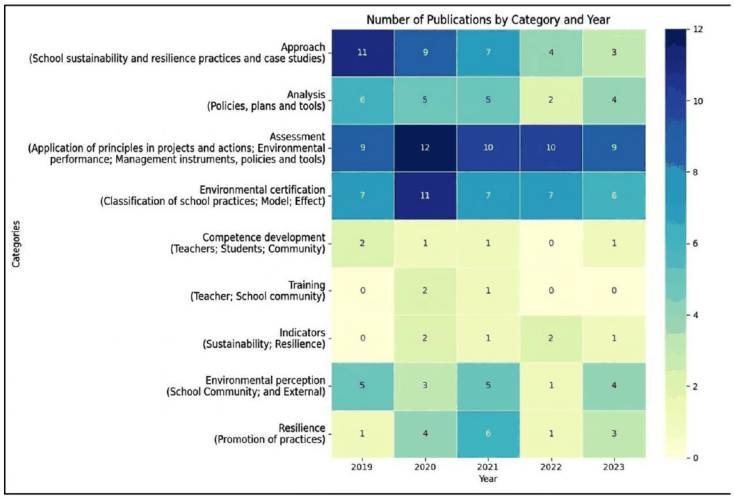


Figure 3. Number of publications related to resilience, by category and year.

From this initial sample, the categories were determined based on the number of publications and the increase in studies on the subject in recent years, under the assumption that these represent more consolidated approaches with greater potential for integration into measurable tools at the school level (Dawodu et al., 2022). Thus, following the established selection criteria — except for the categories Environmental Certification, Indicators, and Resilience, which already constituted objects of interest of this study — the resulting categories of resilience indicators in this stage were Approach, Analysis, and Assessment.

To support discussions on resilience indicators in the school context and the analysis of state policies, it was necessary to define the concept of resilience, based on the first literature review (Stage 1) and the documentary and content analysis (Stage 2) of policies and plans related to climate change. The most comprehensive and adequate definition adopted in this study understands resilience as the capacity of social, economic, and environmental systems to cope with hazardous events, trends, or disturbances, responding or reorganizing in ways that maintain their essential functions, identity, and structures, while also preserving the capacity for adaptation, learning, and transformation (United Nations Framework Convention on Climate Change, 2023).

Public policies and climate change adaptation plans

The survey and documentary analysis enabled the examination of principles, objectives, targets, and guidelines of Brazilian state policies and initiatives aimed at increasing adaptive capacity and resilience to address climate change. State policies generally follow the Brazilian National Policy on Climate Change (Brasil, 2009), presenting convergences in terms of principles, guidelines, and instruments. In general, they integrate the concept of sustainability with climate impact mitigation actions for disaster prevention; common but differentiated responsibilities; recognition of risks, vulnerabilities, and social impacts; governance and participation of different social actors in the implementation of legal principles; environmental education; and transparency.

It was found that, as of 2024, 48.15% of Brazilian states have policies and plans for mitigation of and adaptation to climate change. Meanwhile, 51.9% have only policies, without an adaptation

plan with clear metrics, or are still in the development phase (Westin; Araújo; Leal, 2025). Figure 4 presents the geographic distribution of these states, visually distinguishing those with consolidated plans from those in the elaboration phase or without plans, underscoring regional disparities in the climate planning process.

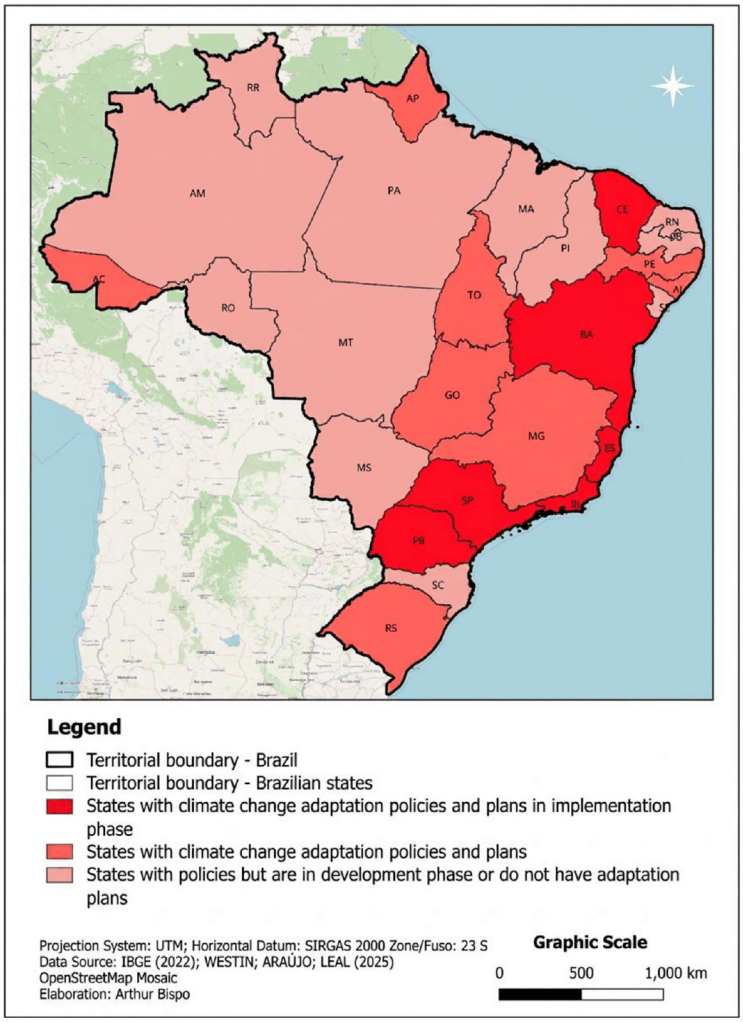


Figure 4. Map of Brazilian states with climate change adaptation policies and plans (2025).

Notably, state policies and plans address disaster risks in a limited way; in most cases, they define the control and stabilization of GHG as the core of their initiatives. In contrast, multiple disaster risk factors are present across the territory, with significant regional variations (Marengo et al., 2021). The main climate-related disasters in Brazil include hydrogeological events, landslides, floods, inundations, droughts, and prolonged dry spells. This discrepancy reveals the need for greater integration between climate policies and disaster risk management, especially given the intensification of extreme events in recent decades (Freitas; Witt; Veiga, 2023).

Thus, significant advances can be observed in public policies and, above all, in the implementation of climate change adaptation plans. Examples include the states of Bahia, Ceará, Espírito Santo, and Paraná, which, in addition to implementing adaptation plans in advanced stages of execution, have established clear targets at the regional level. These plans involve the identification of territorial risks and the prioritization of verifiable and measurable targets and actions, with specific attention to adaptation in school units, particularly in the phase of identifying resilience indicators.

Conformation of sustainability indicators × SDGs

The mind maps referring to the SDGs and their targets, developed in Stage 3, are available as Supplementary Material 4. Together with the pivot tables used to align the sustainability indicators with the SDGs, in terms of fulfilling their targets, they enabled interactive visualization of the information. The main result of this stage was the identification of direct and indirect associations between categories and subcategories of sustainability indicators applicable to school units (Souza et al., 2024) and the SDGs that address resilience in their targets - namely SDG 1, SDG 2, SDG 3, SDG 9, SDG 11, and SDG 13. The results are available in the Supplementary Material 5.

To avoid overlaps and ensure complementarity with Souza et al. (2024), the creation of a specific resilience axis in sustainability indicators for school units was proposed. This decision is justified by the need to address disaster risk reduction more comprehensively - an aspect that, although present in the categories and subcategories presented by Souza et al. (2024), is treated indirectly and aggregated in sustainability assessment tools and strategies in schools. This approach aligns with the criticism of Roostaie, Nawari, and Kibert (2019), who point to the absence of resilience indicators in existing assessment tools. Furthermore, the inclusion of a specific resilience axis dialogues with the growing concern with DRRE, as highlighted by Selby and Kagawa (2012), and with the need to prepare schools to face the challenges posed by climate change, as evidenced by studies such as that of Marchezini, Muñoz, and Trajber (2018).

Survey of resilience indicators

Based on the Brazilian state adaptation plans in the implementation phase, a set of recurring actions, crucial for achieving resilience in schools, was identified. These actions, derived from in-depth documentary analysis, form the basis for proposing indicators, translating into measurable and adaptable practices for the school context. The identified actions include the following principles:

- **Expansion and strengthening of climate actions**: Aligned with the need for robust responses to climate change (Brasil, 2009);
- **Mapping of community actors**: Essential for building support and collaboration networks, as suggested by Alcântara and Sampaio (2021);
- **Encouragement of research on impacts, vulnerabilities, and adaptation**: Fundamental for generating local knowledge and developing adapted technologies, in line with the need for systemic approaches (SARAIVA; Almeida; Bragança, 2019);
- **Development of data platforms on climate change:** To facilitate access to information and support decision-making (Brasil, 2024).
- **Awareness-raising and social mobilization actions**: Crucial for behavioral change and the promotion of citizen education, as highlighted by Santos et al. (2022);
- **Training programs for professionals and leaders**: To strengthen the response capacity and resilience of vulnerable communities (Salvador, 2020; Paraná, 2020; São Paulo, 2022);
- **Ecosystem-based Adaptation (EbA) strategies**: For the protection of risk areas and the promotion of ecosystem resilience (Rio de Janeiro, 2018; São Paulo, 2022);
- **Diagnosis of climate vulnerabilities**: For the identification of priority groups and the definition of targeted actions (Paraná, 2020; Rio de Janeiro, 2018);
- **Creation of vulnerability scales**: For the prioritization of actions and determination of resource allocation (Salvador, 2020; Paraná, 2020);
- **Development of risk management tools**: For preparedness and response to socio-environmental disasters (São Paulo, 2022).

These actions were identified in plans from states such as Rio de Janeiro, Bahia - Salvador, Paraná, and São Paulo, which represent more advanced stages of implementation, with measurable and time-bound practices. This enabled their adaptation to the school context with a view to building resilience. These elements reinforce the perspective that schools are strategic spaces for the diffusion of sustainable practices and preparation for future challenges (Kim; Go, 2020).

Preliminary proposal of resilience indicators

The targets identified in the policies and plans were converted into actions and subsequently incorporated into the resilience indicator categories proposed in Stage 1 (first review), in association with priority actions of the Sendai Framework (United Nations International Strategy for Disaster Reduction, 2015). To this end, the P–E–R model (Organisation for Economic Co-operation and Development, 1994) was adapted to 'Diagnosis'–'Monitoring'–'Preparedness'–'Response/Recovery' (D–M–P–RR), as recommended within the scope of DRM (Brasil, 2021). These steps resulted in a new grouping of actions into categories and subcategories (groups of actions), forming the proposed resilience indicators after the final round of preliminary validation (Round 3), as shown in Figure 5.

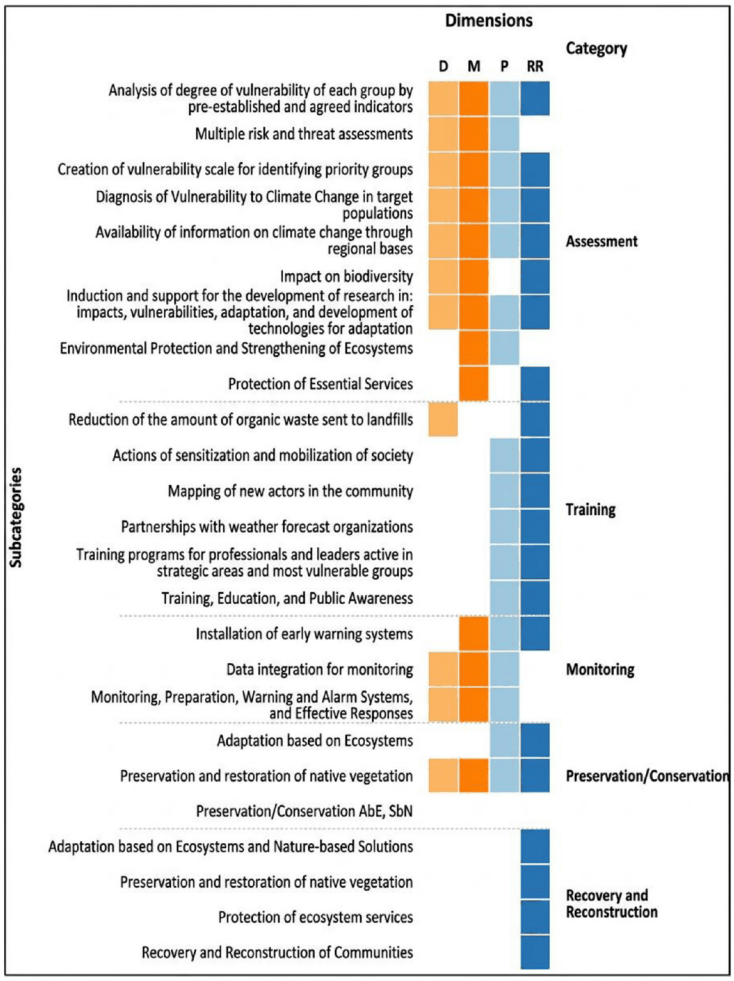


Figure 5. Indicators – categorised into dimensions, categories and subcategories

Thus, the proposal comprises the following categories: Assessment; Training; Monitoring; Preservation/Conservation; and Recovery and Reconstruction.

Definition of the final sample of resilience indicators

From the categories and subcategories structured in Item 5, the final sample of indicators was defined, in convergence with the resilience attributes presented in the R2R Campaign (United Nations Framework Convention on Climate Change, 2023), categorized into:

- **Assessment** – actions that contribute to anticipating and preparing for change and uncertainty; preventing and monitoring climate hazards and risks; and planning for change and adaptive capacity;

- **Training** – actions that contribute to generating, absorbing, and processing new information about climate change; learning from and internalizing experiences; and adapting them to avoid repeating mistakes;
- **Monitoring** – actions that contribute to promoting and strengthening community leadership; encouraging social participation in processes and decision-making; fostering collaborative and collective organization; and creating and promoting collaboration networks;
- **Preservation and Conservation** – actions that contribute to increasing and/or preserving the diversity of strategies for providing social and ecological services; promoting and creating alternative services in the face of sudden and uncertain changes, disturbances, and degradation; conserving and/or restoring ecological services; creating mechanisms and tools to maintain sustainable infrastructure; and ensuring fair access to resources.

These elements, aligned with the respective subcategories (groups of actions), were validated and reclassified according to the criteria proposed by Santos (2004) and NBR ISO 37120 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2020), resulting in the final sample of indicators, available in Chart 1.

Chart 1. Final Sample of Resilience Indicators

Subcategory	Category	Meets	Does not meet	Meets	Does not meet	Nature	Relationship type
		1. Origin and data collection		2. Interpretation and information		3. Characteristics and properties	
Multiple risk and threat assessment Analysis of the degree of vulnerability of each group by pre-established indicators Creation of a vulnerability scale for identifying priority groups	Assessment	x		x		O [1]	Dt[2] e S[3]
Impact on biodiversity	Assessment Preservation/ Conservation EbA, NbS	x		x		De and P[4]	S
Training, Education and Public Awareness Development of community actors Induction and support for research development on: impacts, vulnerabilities, adaptation and development of adaptation technologies	Training		x	x		De and P	S

[1] Descriptive = De [2] Deterministic = Dt [3] Strategic = S [4] Prescriptive = P

Chart 1. Continued...

Subcategory	Category	Meets	Does not meet	Meets	Does not meet	Nature	Relationship type
		1. Origin and data collection		2. Interpretation and information		3. Characteristics and properties	
Carrying out society awareness and mobilization actions							
Implementation of training programs for professionals and leaders working in strategic areas and most vulnerable groups	Training		x	x		De and P	S
Partnerships with weather forecasting organizations to facilitate delivery, interpretation and application of data in climate risk management	Training/ Monitoring	x		x		De and P	S
Preparation, Alert and Alarm Systems, and Responses							
Data integration for monitoring	Monitoring	x		x		De and P	Dt
Provision of information on climate change through regional databases							
EbA, NbS							
Protection of Essential Services							
Environmental Protection and Strengthning of Ecosystem	Preservation/ Conservation EbA, NbS	x		x		De	Dt e S
Recovery and Reconstrucion of Communities							

[1] Descriptive = De [2] Deterministic = Dt [3] Strategic = S [4] Prescriptive = P

Participatory validation - survey

The analysis of the survey data on resilience indicators in school units revealed important findings regarding the perception of different educational actors about the applicability of the proposed categories.

Internal consistency and correlations among categories

Initially, the internal consistency of the set of indicators was assessed using Cronbach's alpha, which yielded a value of 0.779. This result indicates good internal consistency among the indicator categories, demonstrating the reliability of the instrument and suggesting that the four categories (Assessment, Capacity Building, Monitoring, and Preservation/Conservation) measure the indicators in a clear and coherent manner (Cronbach, 1951). Spearman's correlation matrix revealed moderate associations among most categories, with emphasis on the correlation between Capacity Building and Monitoring ($\rho = 0.576$) and between Assessment and Capacity Building ($\rho = 0.533$). These results may indicate an association between the perception of indicators in these categories. The weakest correlation observed between Assessment and Preservation ($\rho = 0.247$) suggests that these categories may require stronger alignment with practical elements and clearer, measurable targets (Hines; Montgomery; Goldsman, 2000).

Comparison among indicator categories

The Friedman test, applied to compare scores of the four resilience categories measured in the same participants, revealed statistically significant differences ($\chi^2 = 14.33$; $p = 0.002$). This result allows the rejection of the null hypothesis of equivalence among the distributions and evidences that educators perceive different levels of applicability for each dimension. Kendall's W coefficient of concordance ($W = 0.126$), although significant, indicated a small effect size according to Cohen's (2013) criteria, suggesting that the magnitude of these differences is modest, but consistent. The analysis of medians revealed a clear hierarchy: Capacity Building presented the highest median (3.0), followed by Preservation/Conservation (2.8), while Assessment and Monitoring both obtained a median of 2.0, with the latter showing an even lower mean (1.21), indicating less recognition. The prominence of Capacity Building may be attributed to schools' familiarity with continuing education activities and training, which are recurrent practices in educational environments (Selby; Kagawa, 2012). Conversely, the low score for Monitoring suggests that actions such as early warning systems, collaborative climate information networks, and ecosystem-based adaptation remain incipient or insufficiently visible in schools, despite being prioritized by the Sendai Framework for strengthening integration between schools and civil defense (United Nations International Strategy for Disaster Reduction, 2015). This finding aligns with the literature indicating that Monitoring constitutes one of the most challenging dimensions for implementing resilience policies in educational contexts, due to demands for infrastructure, intergovernmental articulation, and technological resources that are often limited in school settings (Trajber, 2019).

Comparison among actor groups

The comparison of perceptions regarding the applicability of resilience indicators among the groups School Management ($n = 5$), Teachers ($n = 26$), and Department/Researcher ($n = 7$) did not reveal statistically significant differences in any of the four evaluated categories according to the Kruskal-Wallis test ($p > 0.05$ for all comparisons). This result indicates homogeneity in the perceptions of different segments, suggesting that the indicators are understood transversally by educational actors (Hines; Montgomery; Goldsman, 2000).

In the Assessment category, scores did not differ significantly among groups ($H = 4.34$; $p = 0.114$), evidencing convergence regarding the identification of practices related to the recognition of risks and vulnerabilities in the school environment. This alignment suggests that diagnostic and threat mapping actions are widely perceived as essential components of resilience strategies, regardless of the institutional role occupied (Selby; Kagawa, 2012).

In Training, although the test did not indicate statistical significance at the 5% level (H = 5.87; p = 0.053), the borderline value suggests a tendency toward variations in the perception of the importance or feasibility of formative actions. Descriptive data show that the Department/Researcher group presented the highest mean (2.86), followed by School Management (2.60) and Teachers (1.65). This difference, although not significant, may reflect the greater visibility that professionals from broader institutional levels (departments and universities) have regarding training opportunities, while teachers, immersed in classroom routines, may perceive such initiatives as less frequent or less accessible (Ferreira; Pereira; Fiore, 2024).

In the Monitoring category, no significant differences were observed (H = 1.16; p = 0.559), and medians were the lowest among all categories (Management: 2.0; Teachers: 1.0; Department/Researcher: 1.0). This result reinforces that the fragility of monitoring is a perception shared by all actors, regardless of their role. The absence of significant differences suggests that difficulties related to implementing early warning systems, collaborative networks, and climate adaptation actions are consensually recognized as a critical point. In this sense, monitoring actions should be articulated between schools and civil defense, according to one of the main priority axes of the Sendai Framework (United Nations International Strategy for Disaster Reduction, 2015).

In the Preservation and Conservation category, no significant differences were identified (H = 4.07; p = 0.131). Medians were close across groups (Management: 1.0; Teachers: 1.0; Department/Researcher: 2.0), indicating that initiatives such as school gardens, tree planting, composting, and waste management are widely recognized as concrete and observable practices (Fiore et al., 2022). The homogeneity of responses may reflect the dissemination of environmental education programs in Brazilian education systems, often incorporated into pedagogical projects (Trajber, 2019). The Department/Researcher group presented a slightly higher mean (2.43), possibly due to having a more comprehensive perspective on environmental policies at the municipal or state level.

Implications of the findings

The results indicate that, although the categories of resilience indicators are perceived relatively homogeneously among different educational actors, there are significant differences in the degree of recognition among the categories themselves. Training emerges as the most consolidated dimension, while Monitoring stands out as the main challenge to be addressed. This diagnosis is relevant for public policy planning and for the development of school resilience assessment instruments, suggesting the need for investments in infrastructure, training, and institutional articulation to strengthen monitoring practices in schools (Alcântara; Sampaio, 2021).

The absence of significant differences among groups reinforces the idea that the proposed indicators are understood transversally, which is positive from the perspective of social validation of the instrument. However, the observed trends, especially in the Training category, point to the importance of considering the specificities of each group when designing implementation strategies. Managers and department professionals can act as facilitators and articulators of partnerships, while teachers, being at the forefront of the educational process, offer a perspective closer to the real limitations and potential of daily classroom and school life (Selby; Kagawa, 2012).

Limitations of the statistical analyses

It is important to acknowledge limitations associated with the statistical analyses. The reduced sample size (n = 37) limits the statistical power of the tests and the ability to detect small-magnitude differences (Hines; Montgomery; Goldsman, 2000). The sample is predominantly composed of teachers (68.4%) and geographically concentrated in the state of São Paulo (92.1%), which restricts the generalization of results to other regional contexts and professional groups. Moreover, the ordinal nature of the data derived from the Likert scale, although adequately treated with non-parametric methods, it may limit analytical sensitivity compared to continuous measures (Hines; Montgomery; Goldsman, 2000).

Despite these limitations, the results provide relevant evidence on the perception of the applicability of resilience indicators in school units, contributing to the conceptual and methodological refinement of instruments aimed at evaluating sustainability and resilience in the educational context (Souza et al., 2024). The consultation with social actors enabled the identification of resilience actions more suited to the school reality, such as encouraging inter-school partnerships, community forums for extracurricular activities, continuous consultation with the community about housing conditions, and formative activities with active methodologies (conversation circles and group dynamics) (Russo et al., 2021; Praveena; Themudu, 2022; Bopape, 2022). The prioritization of these actions by school actors aligns with the view that schools are ideal environments for implementing sustainability and resilience actions due to their diversity and reach (Fathi et al., 2023; Trajber, 2019; Kim; Go, 2020).

The categories were validated as applicable by most respondents, with the exception of Monitoring. This result may be associated with the fact that the proposed subcategories involve actions on a broader scale, requiring infrastructure not available in the school context. The active participation of the school community reinforces the importance of EfS as a strategy to guide effective and replicable practices (Hawa et al., 2021; Ferreira; Pereira; Fiore, 2024). To strengthen the proposal of resilience indicators, the prioritization of subcategories and actions indicated by teachers, principals, and coordinators contributes to the transition toward more sustainable communities, promoting disaster risk reduction with clear strategies and fostering sustainable development with strong alliances and broad popular participation (United Nations International Strategy for Disaster Reduction, 2012).

The effective participation of the school community in strategic planning, as advocated by Brito and Carnieli (2011), is essential to guarantee the genuine engagement of various actors in strengthening school resilience. Incorporating resilience principles enables direct action in shaping more aware, environmentally just, and responsible citizens. Democratic management, participatory governance, and the deepening of social leadership in school units and their surroundings are fundamental elements for promoting governance and community engagement in building more resilient educational environments (Moreira, 2012).

The search for a systemic approach that integrates multiple aspects of school sustainability is essential to continuously monitor and evaluate implemented actions (Saraiva, Almeida; Bragança, 2019; Mora, Vilches; Ospina, 2022). Furthermore, adapting indicators to regional contexts — considering specific cultural, social, financial, political, and educational characteristics — reinforces the importance of active participation by local actors in defining strategies (Saraiva et al., 2019). Assessing the environmental and social impact of school practices via resilience indicators is essential to guarantee their replicability across different contexts (Sortwell et al., 2024). Integrating resilience principles into school management directly contributes to the formation of citizens prepared to address socio-environmental challenges, in line with the principles of DRRE (Selby; Kagawa, 2012). Building resilient schools strengthens civic education and contributes to a more balanced future, as highlighted by Trajber (2019).

Validation of the set of sustainability indicators: EfS, management, physical space, and resilience

Figure 6 presents radar charts illustrating key sustainability indicators based on the framework proposed by Souza et al. (2024), including axes, categories, and subcategories for EfS, Physical Structure, and Management. The charts highlight the results of Stage 7, which reassessed the Physical Structure, Education for Sustainability, and Management dimensions, as well as the Resilience axis included as a result of this research.

The evaluation results for the Physical Structure axis show significant prioritization for categories such as “Accessibility” and “Indoor environmental quality,” indicating the high importance attributed to accessible and comfortable school spaces for students and staff. The literature suggests that such conditions can improve learning by creating sustainable environments that function as practical examples of good environmental practices (Masseck et al., 2024). Additionally, “Sanitary infrastructure” was identified as a

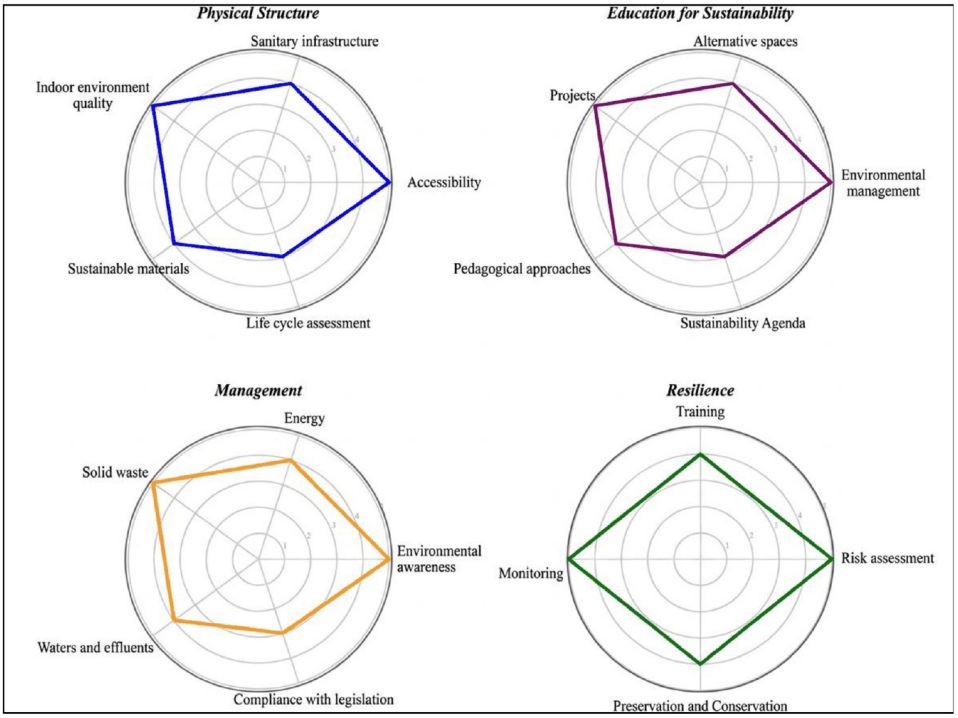


Figure 6. Radar charts showing the degree of importance of the indicator subcategories.

high-priority category, reflecting the need to ensure health and safety conditions that are fundamental for student well-being, and promoting public health and school performance via sustainable sanitation practices (Sultana et al., 2023).

The "Sustainable materials" category was also considered relevant, emphasizing the importance of selecting environmentally responsible materials for the construction and maintenance of school buildings in order to reduce environmental impacts, especially carbon emissions, as highlighted by Lei et al. (2023). "Life cycle assessment" was identified as a medium priority and may therefore be considered a supporting indicator, given the challenges associated with data collection.

In the Education for Sustainability axis, "Environmental management" was deemed the highest priority category, reinforcing that sustainability in schools depends on the integration of environmental practices into management processes. According to Aberle et al. (2022), this integration can be facilitated by governance structures involving various social actors. The "Projects" and "Alternative spaces" categories received high priority, suggesting that the implementation of innovative spaces and sustainable projects is essential to foster sustainable attitudes and behaviors among students (Hawa et al., 2021). The "Pedagogical approaches" category, although assigned a slightly lower priority, still reflects the need to adopt teaching methodologies that encourage environmental awareness, as highlighted by Chen et al. (2022). Conversely, the "Sustainability agenda" was considered low priority and may therefore be regarded as a supporting indicator. It should be noted that the curricular implementation of environmental themes and the development of sustainable community actions are intrinsic aspects of a sustainable school (Bopape, 2022).

High priority was assigned to the "Environmental awareness" and "Solid waste" categories in the evaluation of the Management axis, reflecting the relevance of sustainable practices in reducing schools' environmental impact. Waste and water management are highlighted as essential for resilient schools, focusing on reducing consumption and adopting practices such as rainwater harvesting, school gardens, and composting (Santos et al., 2022; Sundin et al., 2024). However, these themes are often incorporated into education for sustainability actions and may therefore be more easily recognized. The "Energy"

category, although highly relevant to both academic activities and sustainability, received an average score, suggesting the need to strengthen energy resource management and expand knowledge on the subject. Finally, the "Compliance with legislation" category was considered low priority and can be understood as a supporting indicator, given its regulatory role and its connection with environmental awareness (Kim; Go, 2020), as well as with ensuring compliance with current environmental quality requirements within school territories.

The "Risk assessment" and "Monitoring" categories, from the Resilience axis, were evaluated as high priority, suggesting that schools should focus on preparedness to identify and respond to environmental risks. The recognition of relevance of the "Capacity Building" and "Preservation and Conservation" categories indicates that schools should also be evaluated in terms of adequate training programs and environmental conservation actions. These initiatives can be understood as opportunities to strengthen continuing education for the preservation of natural resources, provided they are grounded in DRRE (Selby; Kagawa, 2012).

Overall, the results of this validation provide relevant information for school managers, educators, and public policy makers, enabling identification of strengths and areas for improvement in the dimensions of sustainability and resilience. The specialists' analysis suggests that schools have a solid foundation in terms of infrastructure and environmental awareness; however, greater emphasis is needed on the implementation of long-term sustainable practices, such as life cycle assessment and full compliance with environmental legislation (Lei et al., 2023). The findings also indicate that analyzing dimensions of school sustainability and resilience is crucial for guiding continuous improvement strategies (Bopape, 2022) and that, with visual tools, schools can monitor their progress and identify areas that require greater attention (Saraiva et al., 2019). A more integrated and systemic approach, focused on education and long-term management, may enhance the effectiveness of sustainability and environmental resilience practices in schools (Praveena; Themudu, 2022).

The specialists who validated the set of sustainability and resilience indicators also indicated quantifiable parameters recommended for each axis. According to Santos (2004), parameters are observable aspects that describe, in a quantifiable manner, compliance with the indicators. Chart 2 syntheses the specialists' suggestions and their correspondence with elements reported in the literature and public policies. Based on these contributions, it was possible to compile a list of actions (parameters) that can be identified in school units, as well as their respective metrics and criteria for evaluating each indicator.

The inclusion of quantifiable parameters enables a more objective and measurable evaluation of school sustainability and resilience indicators for each axis (Souza et al., 2024). These parameters allow managers and researchers to monitor school performance over time, identifying trends and areas requiring intervention. Furthermore, comparison with the literature strengthens the validity of the indicators, ensuring that the recommendations are aligned with the best available scientific evidence (Sortwell et al., 2024). As the indicator structure encompasses its axis, category, and subcategory for the evaluation of school sustainability and resilience, Figures 7 to 11 present the requirements considered adequate to make educational spaces more sustainable and prepared for socio-environmental vulnerabilities. The numbers preceding subcategories in the figures represent the metrics and elements that compose each subcategory, that is, the parameters that enable the observation of the indicator in the school unit.

By prioritizing the subcategories and actions indicated by teachers, principals, and coordinators in the resilience indicator proposal presented, the aim is to foster discussion about the participation of these actors in the planning and implementation of such actions, promoting a transition, at local and regional levels, toward more sustainable and resilient communities. It is understood that disaster risk reduction can be achieved via clear strategies towards achieving sustainable development, grounded in strong alliances and broad popular participation (United Nations International Strategy for

Chart 2. Parameters for Indicators by Axis.

Eixo	Indicator	Suggested Parameters	Autores
Physical Structure	Accessibility	Number of ramps, elevators, adapted bathrooms, tactile and visual signage.	Russo et al. (2021); Jiménez-Espada, Cuartero and Le Breton (2022).
	Sanitary infrastructure	Number of bathrooms, hygiene conditions, availability of water and soap.	Jiménez-Espada, Cuartero and Le Breton (2022); Sultana et al. (2023).
	Indoor environment quality	Levels of lighting, ventilation, temperature and acoustics.	Saraiva, Almeida and Bragança (2019); Fathi et al. (2023); Masseck et al. (2024).
	Sustainable materials	Use of recycled materials, environmental certifications, durability of materials.	Saraiva, Almeida and Bragança (2019); Santos et al. (2022); Masseck et al. (2024).
	Building life cycle assessment	Analysis of environmental impact from construction to demolition.	Mistretta et al. (2019); Saraiva, Almeida and Bragança (2019); Lei et al. (2023).
Education for Sustanaibility	Environmental management	Number of environmental projects, community participation, waste reduction.	Hall et al. (2021); Praveena and Themudu (2022); Bopape (2022); Lei et al. (2023).
	Alternative learning spaces	Existence of vegetable gardens, gardens, sustainable laboratories.	Hawa et al. (2021); Aberle et al. (2022); Santos et al. (2022).
	Projects	Number of projects developed, student involvement, results achieved.	Bopape (2022); Sultana et al. (2023); Zafeiropoulos and Drinia (2023).
	Pedagogical approaches	Use of active methodologies, integration of environmental themes in the curriculum.	Saraiva, Almeida and Bragança (2019); Bopape (2022); Santos et al. (2022); Fathi et al. (2023).
	Sustainability Agenda	Number of events held, topics addressed, community participation.	Hawa et al. (2021); Russo et al. (2021); Fathi et al. (2023).
Management	Team environmental awareness	Number of trainings carried out, observed behavioral changes.	Kim e Go (2020); Praveena and Themudu (2022); Bopape (2022)
	Energy	Energy consumption, use of renewable sources and energy efficiency.	Saraiva, Almeida and Bragança (2019); Bopape (2022); Santos et al. (2022); Masseck et al. (2024); Sundin et al. (2024).
	Solid waste	Amount of waste generated, recycling rate, composting.	Saraiva, Almeida and Bragança (2019); Bopape (2022); Masseck et al. (2024); Sundin et al. (2024).
	Water and effluents	Water consumption, effluent treatment, water reuse.	Saraiva, Almeida and Bragança (2019); Praveena and Themudu (2022); Bopape (2022); Santos et al. (2022); Sultana et al. (2023).
	Compliance with environmental legislation	Compliance with environmental standards, fines or penalties received.	Kim e Go (2020); Mora, Vilches and Ospina (2022).

Chart 2. Continued...

Eixo	Indicator	Suggested Parameters	Autores
Resilience	Multiple risk and threat assessment	Risk identification, contingency plans, simulations carried out.	Brasil (2009); Selby and Kagawa (2012); Saraiva, Almeida and Bragança (2019); United Nations Framework Convention on Climate Change (2023).
	Training	Number of trainings, community participation, skills development.	Kim and Go (2020); Praveena and Themudu (2022); Santos et al. (2022); Salvador (2020); Paraná (2020); São Paulo (2022); United Nations Framework Convention on Climate Change (2023).
	Monitoring	Alert systems, data integration, monitoring frequency.	Alcântara and Sampaio (2021); United Nations Framework Convention on Climate Change (2023).
	Preservation and Conservation	Preserved green areas, restoration projects, local biodiversity.	Rio de Janeiro (2018); São Paulo (2022); United Nations Framework Convention on Climate Change (2023).

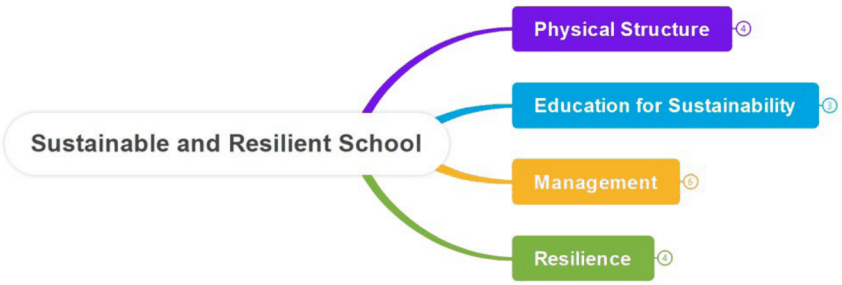


Figure 7. Main axis structure of indicators for a Sustainable and Resilient School.

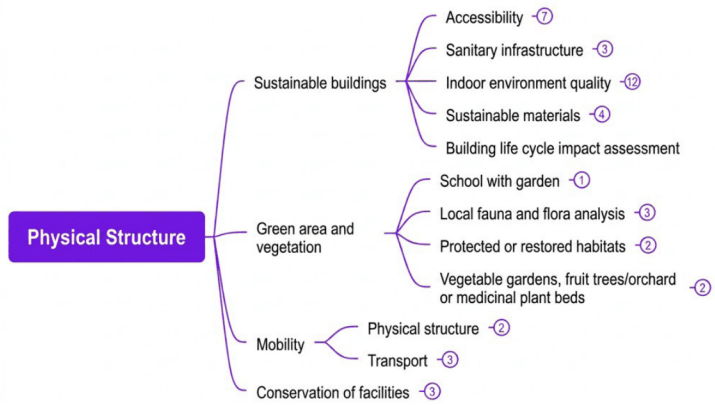


Figure 8. Indicator structure of the "Physical Structure" axis, categories and subcategories.

Disaster Reduction, 2012). According to Brito and Carnieli (2011), effective participation in school strategic planning requires the involvement of various actors in decision-making processes. In this sense, resilience principles can contribute directly to the formation of

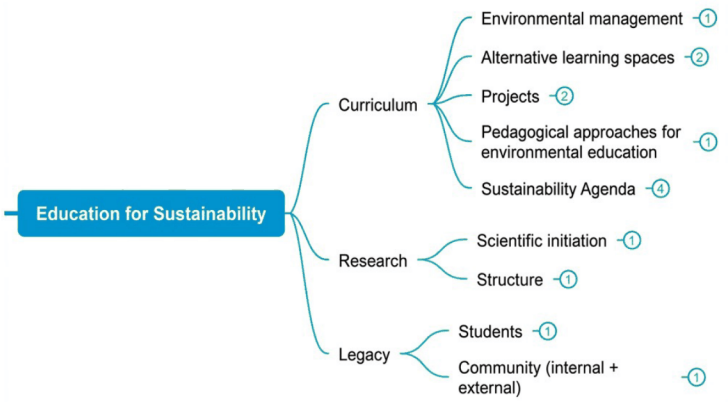


Figure 9. Indicator structure of the "Education for Sustainability" axis, categories and subcategories.

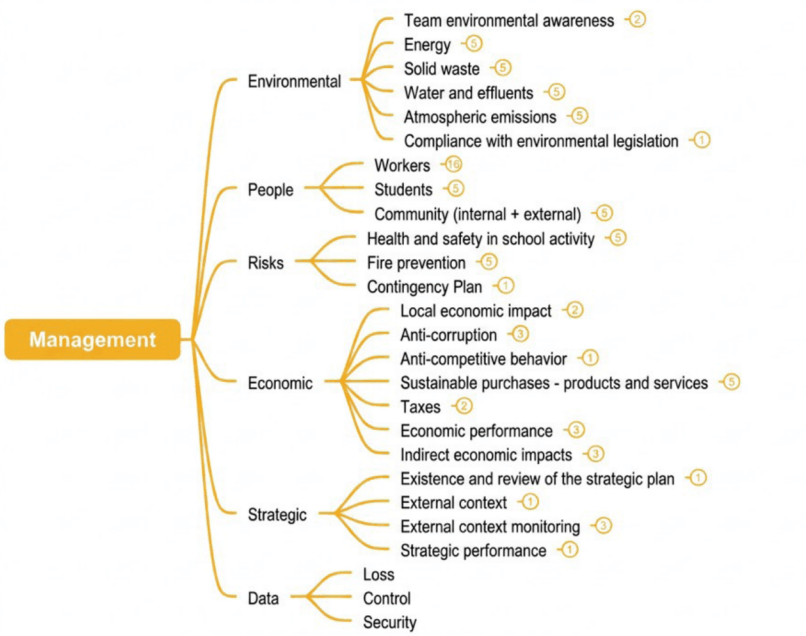


Figure 10. Indicator structure of the "Management" axis, categories and subcategories.

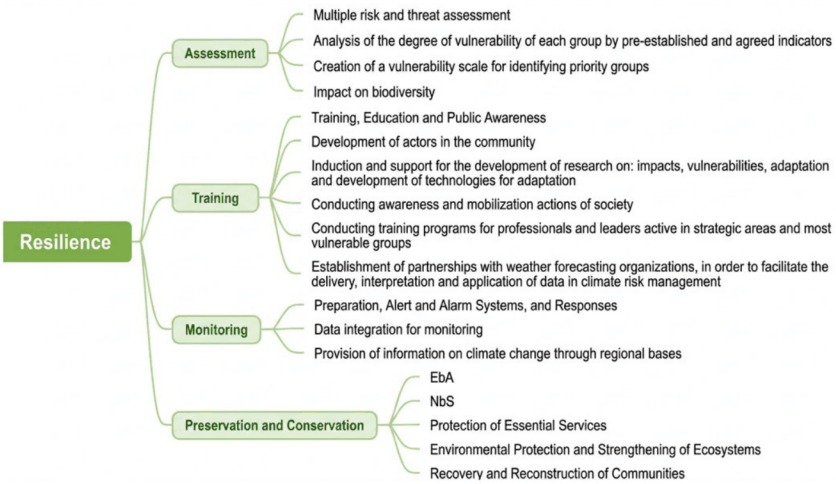


Figure 11. Indicator structure of the "Resilience" axis, categories and subcategories.

more conscious, environmentally just, and responsible citizens, supported by democratic management practices that promote governance and strengthen social leadership in school units and their surrounding communities.

Study limitations and analytical implications

Although the results obtained are consistent with the proposed objectives, they require careful reflection regarding their limitations, practical implications, and possibilities for methodological improvement. Regarding the limitations, it is necessary to recognize that reliance on secondary data to define critical parameters, such as the life cycle assessment of school buildings, may compromise the accuracy of diagnoses in specific contexts, in which detailed technical information is not always available, updated, or accessible to the school context (Souza et al., 2024). Furthermore, the geographic concentration of the sample, with a predominance of respondents from the Southeast and Northeast regions (37 specialists), while offering some degree of regional diversity, does not adequately represent socio-cultural and environmental specificities of the North and Central-West regions of Brazil. This sampling bias may limit the generalization of findings to the national level, especially considering that Amazonian and Cerrado communities face distinct climate vulnerabilities and require educational responses adapted to their local realities (Trigo, 2025).

In practical terms, implementing the proposed indicators in everyday school life requires institutional mobilization strategies that go beyond mere data collection. For risk assessment, resilience training, climate monitoring, and environmental preservation actions to be effectively incorporated into the school routine, participatory approaches involving the entire educational community—managers, teachers, students, staff, and families—in diagnostic, planning, and implementation processes are recommended (Ferreira; Pereira; Fiore, 2024). However, structural challenges such as teacher workload, limited material resources, and the absence of specific continuing education in DRRE may hinder the operationalization of these indicators. Overcoming these barriers requires not only institutional commitment but also the support of public policies that ensure adequate infrastructure, funding, and technical assistance for school units (Ferreira; Pereira; Fiore, 2024).

From a methodological perspective, the study could be significantly enriched by the application of more robust statistical analyses, especially with an expanded sample of specialists representing all Brazilian regions and different education systems (public, private, and community-based). Techniques such as confirmatory factor analysis could be employed to test the construct validity of the proposed indicators, verifying whether the subcategories effectively cluster into the four established theoretical dimensions (Hines; Montgomery; Goldsman, 2000). Additionally, correlation analyses between the scores assigned by specialists and contextual variables—such as geographic location, school size, or respondents' professional experience—could reveal previously unobserved perception patterns, contributing to further refinement of the evaluative framework.

Finally, linking the identified limitations to opportunities for improvement highlights the need for longitudinal investigations that monitor, over time, the implementation of indicators in pilot schools strategically distributed throughout the national territory. Studies of this nature would not only enable empirical validation of the proposed model's efficacy but also generate evidence on adjustments required for its adaptation to diverse socio-environmental contexts. The incorporation of mixed methods, combining quantitative analyses with qualitative approaches, such as focus groups and case studies, may deepen the understanding of how institutional resilience is built in everyday school life, offering concrete subsidies for the development of educational policies aligned with the 2030 Agenda and with the formation of communities effectively prepared for contemporary climate challenges (Selby; Kagawa, 2012; Ferreira; Pereira; Fiore, 2024).

CONCLUSION

Education for the reduction of socio-environmental disaster risks constitutes a strategic element for the formation of citizens capable of addressing challenges posed by climate change. This study started from the recognition that, although Brazilian public school units have significant potential to promote resilient communities — given their territorial reach, socioeconomic diversity, and formative function — they lack systematized frameworks to guide the evaluation of resilience and sustainability actions. In response to this gap, this study aimed to structure a conceptual and methodological reference for organizing school resilience indicators within the scope of DRRE, integrating them into a broader sustainability assessment system.

The main innovation of this research lies in proposing resilience as an autonomous and complementary evaluative axis to the traditionally contemplated dimensions (physical structure, management, and education for sustainability), thus improving models that frequently subordinate or aggregate the concept without sufficient depth. The methodology adopted, grounded in a systematic literature review, documentary analysis of public policies, and participatory validation with social actors, proved adequate to the proposal and enabled the construction of a system of measurable indicators aligned with the SDGs, particularly SDGs 4, 11, and 13.

The results show that resilience in school units can be operationalized by means of four fundamental categories: Assessment (recognition of risks, threats, and vulnerabilities), Training (training of social actors and skill development), Monitoring (early warning systems, data integration, and collaborative networks), and Preservation/Conservation (ecosystem protection and nature-based strategies). Empirical validation with 37 specialists from different Brazilian regions confirmed the relevance of this structure, highlighting the prioritization of risk assessment (51.35% of respondents) and the broad recognition of preservation and conservation actions (78.37%). Conversely, the Monitoring category emerged as the main challenge, requiring investments in infrastructure, inter-federative articulation, and integration with civil defense agencies. This finding corroborates the literature and signals priority directions for public policies.

The statistical analysis reinforced the internal consistency of the instrument (Cronbach's alpha = 0.779) and revealed homogeneity in perceptions among managers, teachers, and researchers, indicating that the proposed indicators are understood transversally by different educational actors. The absence of significant differences between groups (Kruskal-Wallis test, $p > 0.05$) suggests that the framework has social validity and potential for application in diverse contexts. However, the geographic concentration of the sample, with a predominance of respondents from the Southeast and Northeast regions, underscores the need for expanded studies that contemplate specificities of the North and Central-West regions.

At the operational level, the study advances by establishing quantifiable parameters for each axis — such as energy efficiency indices, waste management rates, frequency of resilience training, and preserved green areas — thus offering educational institutions concrete tools for diagnosis, monitoring, and continuous improvement. The alignment of these parameters with specialized literature and with state climate adaptation policies (Bahia, Ceará, Espírito Santo, Paraná, Rio de Janeiro, and São Paulo) lends robustness to the proposal and ensures its consistency with current national and international best practices.

Nevertheless, some limitations must be acknowledged and addressed in future investigations. The dependence on secondary data to analyze critical parameters, as well as the need to expand the sample for greater territorial representativeness, indicate opportunities for methodological improvement. In this regard, longitudinal studies are recommended to monitor the implementation of indicators in pilot schools, combining quantitative and qualitative methods. Such designs may provide more robust evidence on the efficacy of the model and its necessary adjustments to diverse socio-environmental contexts.

Three lines of investigation appear particularly promising: (i) the development of digital platforms to automate monitoring of indicators, overcoming data collection and analysis limitations; (ii) the integration of this framework into established institutional evaluation systems, accelerating the institutionalization of resilience in educational policies; and (iii) the adaptation of the methodology for non-formal education contexts, expanding the social impact of the study to communities, neighborhood associations, and popular education spaces.

By providing a robust theoretical-methodological framework and practical tools for managers, educators, and policymakers, this study contributes to enabling school units to fully realize their transformative potential: that of incubators of change that, by means of example and pedagogical action, disseminate a culture of prevention, adaptation, and resilience within communities in which they operate. The consolidation of collaborative networks for risk recognition, climate monitoring, capacity building, and ecosystem preservation constitutes a feasible path for Brazilian schools to assume a leading role in building a safer, fairer, and more sustainable future — an indispensable contribution to achieving the targets of the 2030 Agenda and addressing contemporary climate challenges.

ACKNOWLEDGMENTS

CAPES Master's Scholarship, grant 88887.914810/2023-00.

REFERENCES

ABERLE, L. M. *et al*. Application of a sustainability framework to enhance Australian food literacy programs in remote Western Australian communities. **Health Promotion Journal of Australia**, Hoboken, v. 33, n. S1, p. 174-206, 2022. DOI: https://doi.org/10.1002/hpja.586.

AGIRREAZKUENAGA, L. Embedding sustainable development goals in education. Teachers' perspective about education for sustainability in the Basque Autonomous Community. **Sustainability**, Basel, v. 11, n. 5, p. 1496, 2019. DOI: https://doi.org/10.3390/su11051496.

ALCÂNTARA, L. C. S. C.; SAMPAIO, C. A. C. Degrowth from the perspective of transitioning cities: resilience and socio-environmental ethics. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, Anápolis, v. 10, p. 81-96, 2021.

ANDRADE, M. **Development of MAIA**: a matrix of legal adequacy indicators for rural areas regarding Brazilian environmental legislation. 2021. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Rural Sustentável) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **ABNT NBR ISO 37120**: sustainable development of communities: indicators for urban services and quality of life. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **ABNT NBR ISO 37122**: sustainable cities and communities: indicators for urban services and quality of life. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **ABNT NBR ISO 37123**: indicators for resilient cities. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011.

BIASOLI, S.; SORRENTINO, M. Dimensions of public environmental education policies: the necessary inclusion of everyday politics. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 21, p. 1-18, 2018. DOI: https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc0144r2vu18l2ao.

BOPAPE, J. SWOT analysis of selected schools involved in greening and sustainable development programmes. Southern. **African Journal of Environmental Education**, Makhanda, v. 38, n. 1, p. 36-59, 2022. DOI: https://doi.org/10.4314/sajee.v38i1.04.

BRASIL. Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 28 abr. 1999. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9795.htm. Acesso em: 6 abr. 2023.

BRASIL. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 30 dez. 2009. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm. Acesso em: 8 set. 2026.

BRASIL. **Manual escolas sustentáveis**. Brasília, 2013. Disponível em: https://www2.sed.sc.gov.br/documentos/imprensa-223/1573-manual-escola-sustentavel-2922/file. Acesso em: 25 abr. 2023.

BRASIL. **Programa Nacional Escolas Sustentáveis**: versão preliminar. Brasília: Ministério da Educação, 2014.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional – MDR. **Technical notebook GIRD +10**. Brasília, 2021. p. 108-117.

BRASIL. Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima – CIM. **Plano Clima 2024-2035**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima; Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/mudanca-do-clima/adaptacao. Acesso em: 8 set. 2026.

BRITO, R. O.; CARNIELI, B. L. Participatory management: a matrix of interactions between the school and the school community. **Revista Eletrônica de Educação**, São Carlos, v. 5, n. 2, p. 26-41, 2011.

BRUNDTLAND, G. H. **Our common future**: report of the World Commission on Environment and Development. New York: United Nations, 1987. Disponível em: https://digitallibrary.un.org/record/139811. Acesso em: 28 mar. 2023.

CALZADA-INFANTE, L. *et al*. Assessing the efficiency of sustainable cities using an empirical approach. **Sustainability**, Basel, v. 12, n. 7, p. 2618, 2020. DOI: https://doi.org/10.3390/su12072618.

CHEN, C. *et al*. Sustainability literacy: assessment of knowingness, attitude and behavior regarding sustainable development among students in China. **Sustainability**, Basel, v. 14, n. 9, p. 4886, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/su14094886.

COHEN, J. **Statistical power analysis for the behavioral sciences**. 2nd ed. New York: Routledge, 2013. DOI: https://doi.org/10.4324/9780203771587.

CRONBACH, L. J. Coefficient alpha and the internal structure of tests. **Psychometrika**, New York, v. 16, n. 3, p. 297-334, 1951. DOI: https://doi.org/10.1007/BF02310555.

DAWODU, A. *et al*. Neighborhood sustainability assessment tools: research trends and forecast for the built environment. **Sustainable Futures**, Amsterdam, v. 4, p. 100064, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.sftr.2022.100064.

ECO-SCHOOLS. **About Eco-Schools**. London, 2021. Disponível em: https://www.ecoschools.global/how-does-it-work. Acesso em: 2 maio 2023.

ELKINGTON, J.; ROWLANDS, I. H. Cannibals with forks: the triple bottom line of 21st century business. **Alternatives Journal**, Toronto, v. 25, n. 4, p. 42, 1999.

FATHI, L. I. *et al*. Applying the Integrated Sustainability Framework to explore the long-term sustainability of nutrition education programmes in schools: a systematic review. **Public Health Nutrition**, Cambridge, v. 26, n. 10, p. 2165-2179, 2023. DOI: https://doi.org/10.1017/S1368980023001647.

FERREIRA, A. B.; PEREIRA, V. R.; FIORE, F. A. Principles and barriers of education for sustainability identified in the activities of the Sustainable School Project. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 27, p. 1, 2024. DOI: https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc00052vu27l3oa.

FIDALGO, E. C. C. **Criteria for the analysis of environmental methods and indicators used in the diagnostic stage of environmental planning**. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

FIORE, F. A. *et al*. Environmental education experiences based on solid waste characterization activities in educational units: a case study in municipal schools of São José dos Campos (SP). **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, São Paulo, v. 17, n. 2, p. 60-72, 2022.

FREITAS, A. W. Q.; WITT, R. R.; VEIGA, A. B. G. The health burden of natural and technological disasters in Brazil from 2013 to 2021. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 39, n. 4, e00154922, 2023. DOI: https://doi.org/10.1590/0102-311xen154922.

GROVES, R. M. *et al*. **Survey methodology**. 2nd ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2009.

HALL, A. *et al*. Adaptation and validation of the Program Sustainability Assessment Tool (PSAT) for use in the elementary school setting. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, Basel, v. 18, n. 21, p. 11414, 2021. DOI: https://doi.org/10.3390/ijerph182111414.

HAWA, N. N. *et al*. Geography education for promoting sustainability in Indonesia. **Sustainability**, Basel, v. 13, n. 8, p. 4340, 2021. DOI: https://doi.org/10.3390/su13084340.

HINES, W. W.; MONTGOMERY, D. C.; GOLDSMAN, D. M. **Probability and statistics in engineering**. Hoboken: Wiley, 2000.

HOLST, J. *et al*. Monitoring progress of change: implementation of Education for Sustainable Development (ESD) within documents of the German education system. **Sustainability**, Basel, v. 12, n. 10, p. 4306, 2020. DOI: https://doi.org/10.3390/su12104306.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. Summary for policymakers. *In:* INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (ed.). **Climate change 2014**: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. Disponível em: https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/ar5_wgII_spm_en.pdf. Acesso em: 2 maio 2023.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. Summary for policymakers. *In:* INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (ed.). **Climate change 2022**: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report. Cambridge: Cambridge University Press, 2022.

JACOBI, P. Sustainable development and education: paths and challenges. *In:* SOCIEDADE ECOLÓGICA AMIGOS DE EMBU (ed.). **Projeto Agenda 21 e Educação Ambiental em Área de Proteção aos Mananciais**. Embu: SEAE/Fundo Estadual de Recursos Hídricos, 2006.

JANNUZZI, P. M. Indicadores Sociais no Brasil: conceitos, fonte de dados e apicações. *In:* JANNUZZI, P. M. (ed.). **Indicadores sociais no Brasil**: conceitos, fontes de dados e aplicações. Campinas: Alíena, 2009. p. 141.

JIMÉNEZ-ESPADA, M.; CUARTERO, A.; LE BRETON, M. Sustainability assessment through urban accessibility indicators and GIS in a middle-sized World Heritage City: the case of Cáceres, Spain. **Buildings**, Basel, v. 12, n. 6, p. 813, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/buildings12060813.

KIM, D.; GO, S. Capital humano e sustentabilidade ambiental. **Sustainability**, Basel, v. 12, n. 11, p. 4736, 2020. DOI: https://doi.org/10.3390/su12114736.

LEI, B. *et al*. Carbon emission reduction evaluation of end-of-life buildings based on multiple recycling strategies. **Sustainability**, Basel, v. 15, n. 22, p. 15711, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/su152215711.

LIKERT, R. A technique for the measurement of attitudes. **Archives of Psychology**, London, v. 22, n. 140, p. 1-55, 1932.

LIU, J.; XU, Y. T-Friedman test: a new statistical test for multiple comparison with an adjustable conservativeness measure. **International Journal of Computational Intelligence Systems**, London, v. 15, n. 1, p. 29, 2022. DOI: https://doi.org/10.1007/s44196-022-00083-8.

LIZARRALDE, G. *et al*. Sustainability and resilience in the built environment: The challenges of establishing a turquoise agenda in the UK. **Sustainable Cities and Society**, Amsterdam, v. 15, p. 96-104, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scs.2014.12.004.

LOUREIRO, C. F. B. (ed.). **Citizenship and environment**. Salvador: Centro de Recursos Ambientais, 2003.

MARQUES, A. M. M. **Utilização pedagógica de mapas mentais e de mapas conceptuais**. 2008. Dissertação (Mestrado em Expressão Gráfica, Cor e Imagem) – Universidade Aberta de Portugal, Lisboa, 2008. Disponível em: https://repositorioaberto.uab.pt/handle/10400.2/1259. Acesso em: 28 abr. 2023.

MARCHEZINI, V.; MUÑOZ, V. A.; TRAJBER, R. School vulnerability to disasters in Brazil. **Territorium**, Coimbra, n. 25(II), p. 161-178, 2018. DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_25-2_13.

MARENGO, J. A. *et al*. Extreme rainfall and hydro-geo-meteorological disaster risk in 1.5, 2.0, and 4.0 °C global warming scenarios: an analysis for Brazil. **Frontiers in Climate**, Lausanne, v. 3, p. 610433, 2021. DOI: https://doi.org/10.3389/fclim.2021.610433.

MASSECK, T. *et al*. Integrated sustainability assessment of construction waste-based shading devices for the refurbishment of obsolete educational public building stock. **Journal of Building Engineering**, Amsterdam, v. 87, p. 109024, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.109024.

MATSUO, P. M.; SILVA, R. L. F. Disasters in Brazil? Practices and approaches in disaster risk reduction education. **Educar em Revista**, Curitiba, v. 37, e78223, 2021.

MICROSOFT. **Microsoft Excel versão 2019.** Redmond, WA: Microsoft Corporation, 2019.

MIEDIJENSKY, S.; ABRAMOVICH, A. Implementation of "education for sustainability" in three elementary schools What can we learn about a change process? **Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education**, London, v. 15, n. 10, p. em1754, 2019. DOI: https://doi.org/10.29333/ejmste/109145.

MISTRETTA, M. *et al*. Energy and environmental life cycle assessment of an institutional catering service: an Italian case study. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 657, p. 1150-1160, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.131.

MORA, D. T.; VILCHES, M. F. P.; OSPINA, Y. L. Sustainability assessment in Colombian educational institutions: case studies. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 25, e00801, 2022. DOI: https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20210080r1ao.

MOREIRA, S. V. Análise documental como método e técnica *In:* DUARTE, J.; BARROS, A. (ed.). **Métodos e técnicas de pesquisa em comunicação**. São Paulo: Atlas, 2005. p. 269-279.

MOREIRA, T. **Let's take care of Brazil with sustainable schools**: educating ourselves to think and act in times of global socio-environmental changes. Brasília, 2012.

MUSA, H. D. *et al*. Delphi method of developing environmental well-being indicators for the evaluation of urban sustainability in Malaysia. **Procedia Environmental Sciences**, Amsterdam, v. 30, p. 244-249, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.10.044.

NILSSON, M.; GRIGGS, D.; VISBECK, M. Policy: map the interactions between Sustainable Development Goals. **Nature**, London, v. 534, n. 7607, p. 320-322, 2016. DOI: https://doi.org/10.1038/534320a.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT – OECD. **Environmental indicators**: OECD core set. Paris, 1994.

PAGE, M. J. *et al*. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **BMJ**, London, v. 372, p. n71, 2021. DOI: https://doi.org/10.1136/bmj.n71.

PATTISON, A.; HENKE, C. R.; PUMILIO, J. Community-based climate action planning as an act of advocacy: a case study of liberal arts education in a rural community. **Journal of Environmental Studies and Sciences**, New York, v. 11, n. 2, p. 183-193, 2021. DOI: https://doi.org/10.1007/s13412-020-00655-0.

PARANÁ (Estado). Secretaria do Desenvolvimento Sustentável e do Turismo – SEDEST. **Work plan**: Programa Paranaense de Mudanças Climáticas (ParanaClima). Annex to the Management Contract between SEDEST and SIMEPAR. Curitiba: SEDEST, 2020. Disponível em: https://www.sedest.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2021-06/plano_de_trabalho_paranaclima_-_sedest_e_simepar_vfinal.pdf. Acesso em: 8 set. 2026.

PRABAWA-SEAR, K.; DOW, V. Education for sustainability in Western Australian secondary schools: are we doing it? **Australian Journal of Environmental Education**, Cambridge, v. 34, n. 3, p. 244-261, 2018. DOI: https://doi.org/10.1017/aee.2018.47.

PRAVEENA, S. M.; THEMUDU, S. Water conservation initiative in a public school from tropical country: performance and sustainability assessments. **Water Conservation & Management**, Kuala Lumpur, v. 6, n. 1, p. 55-60, 2022. DOI: https://doi.org/10.26480/wcm.01.2022.55.60.

RIO DE JANEIRO. Secretaria de Estado do Ambiente. **Plano de Adaptação Climática do Estado do Rio de Janeiro**: relatório final. Rio de Janeiro: SEA, 2018. Disponível em: https://www.iis-rio.org/wp-content/uploads/2021/11/PAERJ-Relato%CC%81rio-Final-compactado.pdf. Acesso em: 11 mar. 2023.

ROOSTAIE, S.; NAWARI, N.; KIBERT, C. J. Sustainability and resilience: a review of definitions, relationships, and their integration into a combined building assessment framework. **Building and Environment**, Oxford, v. 154, p. 132-144, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.02.042.

RUSSO, F. *et al*. Green and safety school regional program to sustainable development using limited traffic zone. **International Journal of Sustainable Development and Planning**, Edmonton, v. 16, n. 1, p. 71-79, 2021. DOI: https://doi.org/10.18280/ijsdp.160107.

SALVADOR. Secretaria Municipal de Sustentabilidade, Inovação e Resiliência – SECIS. **Plano de Mitigação e Adaptação às Mudanças do Clima de Salvador (PMAMC)**. Salvador: Prefeitura Municipal, 2020. Disponível em: https://sustentabilidade.salvador.ba.gov.br/wp-content/uploads/2020-/12/Versao_Completa_PMAMC.pdf. Acesso em: 8 set. 2026.

SANTOS, R. F. **Environmental planning**: theory and practice. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SANTOS, E. B. *et al*. Sustainability recommendations and practices in school feeding: a systematic review. **Foods**, Basel, v. 11, n. 2, p. 176, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/foods11020176.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente – SIMA. **Plano de Ação Climática do Estado de São Paulo – Net Zero 2050 (PAC 2050)**. São Paulo: SIMA, 2022. Disponível em: https://smastr16.blob.core.windows.net/home/2022/11/pac-sp-2050-_coorigidoformato_23_1_12.pdf. Acesso em: 8 set. 2026.

SARAIVA, T. S. *et al*. The inclusion of a sustainability awareness indicator in assessment tools for high school buildings. **Sustainability**, Basel, v. 11, n. 2, p. 387, 2019. DOI: https://doi.org/10.3390/su11020387.

SARAIVA, T. S.; ALMEIDA, M.; BRAGANÇA, L. Adaptation of the SBTool for sustainability assessment of high school buildings in Portugal – SAHSBPT. **Applied Sciences**, Basel, v. 9, n. 13, p. 2664, 2019. DOI: https://doi.org/10.3390/app9132664.

SEARCY, D. L.; MENTZER, J. T. A framework for conducting and evaluating research. **Journal of Accounting Literature**, Gainesville, v. 22, p. 130-167, 2003.

SELBY, D.; KAGAWA, F. **Disaster risk reduction in school curricula**: case studies from thirty countries. Paris: UNESCO, 2012.

SILVA, A. H.; FOSSÁ, M. I. T. Content analysis: example of application of the technique for qualitative data analysis. **Qualitas Revista Eletrônica**, Campina Grande, v. 16, n. 1, 2015.

SIQUEIRA, N. C. M.; FERREIRA, A. B.; FIORE, F. A. Reconhecimento e validação de indicadores de sustentabilidade aplicáveis ao ensino superior: estudo de caso aplicado à Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP). **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, São Paulo v. 18, n. 5, p. 368-381, 2023. DOI: https://doi.org/10.34024/revbea.2023.v18.14845.

SORTWELL, A. *et al*. A systematic review of meta-analyses on the impact of formative assessment on K-12 students' learning: toward sustainable quality education. **Sustainability**, Basel, v. 16, n. 17, p. 7826, 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/su16177826.

SOUZA, B. S. *et al*. Definition of sustainability indicators applicable to educational units. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 27, e00214, 2024.

SULAIMAN, S. N.; ALEDO, A. Natural disasters: living with risk. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 30, p. 11-23, 2016. DOI: https://doi.org/10.1590/s0103-40142016.30880003.

SULTANA, F. *et al*. Sustaining an elementary school-based hygiene intervention in Bangladesh by forming 'hygiene committees': a pilot study. **Journal of Water, Sanitation, and Hygiene for Development**, London, v. 13, n. 10, p. 749-763, 2023. DOI: https://doi.org/10.2166/washdev.2023.191.

SUNDIN, N.; HALVARSSON, R.; ERIKSSON, M. From plate to waste: composition of school meal waste and associated carbon footprint and nutrient loss. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 206, p. 107656, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107656.

TRAJBER, R.; SATO, M. Escolas sustentáveis: incubadoras de transformações nas comunidades. **Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**, Rio Grande, n. esp., p. 1-9, 2010.

TRAJBER, R. **Pensar fora da caixa**: transição sustentável e resiliente. Avaliação e monitoramento de políticas públicas de educação ambiental no Brasil: transição para sociedades sustentáveis. 1. ed. Piracicaba: MH-Ambiente Natural, 2019. p. 55-68.

TRIGO, F. A. Sustainability in basic education: environmental education projects. **International Integralize Scientific**, Istanbul, v. 5, n. 45, 2025.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE – UNFCCC. **Race to Resilience Campaign**. 2023. Disponível em: https://racetozero.unfccc.int/system/racetoresilience/. Acesso em: 6 mar. 2023.

UNITED NATIONS INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION – UNISDR. **Yokohama strategy and plan of action for a safer world**: guidelines for natural disaster prevention, preparedness and mitigation. Geneva: United Nations, 1994. Disponível em: https://www.undrr.org/publication/yokohama-strategy-and-plan-action-safer-world-guidelines-natural-disaster-prevention. Acesso em: 8 set. 2026.

UNITED NATIONS INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION – UNISDR. **Hyogo Framework for Action 2005-2015**: building the resilience of nations and communities to disasters. Geneva: UNISDR, 2005. Disponível em: https://www.undrr.org/publication/hyogo-framework-action-2005-2015-building-resilience-nations-and-communities-disasters. Acesso em: 8 set. 2026.

UNITED NATIONS INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION – UNISDR. **How to build more resilient cities**: a handbook for local government leaders. Contribution to the global campaign "Making Cities Resilient". Genebra: UNISDR, 2012. Disponível em: https://www.unisdr.org/campaign/resilientcities/assets/toolkit/documents/Handbook%20for%20local%20government%20leaders%20%5B2017%20Edition%5D_PT_Jan2019.pdf. Acesso em: 20 abr. 2023.

UNITED NATIONS INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION – UNISDR. **Sendai framework for disaster risk reduction 2015-2030**. Geneva: UNISDR, 2015. Disponível em: https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030. Acesso em: 8 set. 2026.

UNITED NATIONS INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION – UNISDR. **Report of the open-ended intergovernmental expert working group on indicators and terminology relating to disaster risk reduction**. Geneva: UNISDR, 2016. Disponível em: https://www.undrr.org/publication/report-open-ended-intergovernmental-expert-working-group-indicators-and-terminology. Acesso em: 8 set. 2026.

UNITED NATIONS. General Assembly. **Resolution 44/236, of 22 December 1989**: International Decade for Natural Disaster Reduction. New York: UN, 1989. Disponível em: https://docs.un.org/en/a/res/44/236. Acesso em: 8 set. 2026.

UNITED NATIONS. **Transforming our world**: the 2030 Agenda for Sustainable Development. New York, 21 oct. 2015. Disponível em: https://www.un.org/en/our-work/support-sustainable-development-and-climate-action. Acesso em: 20 abr. 2023.

UNITED STATES GREEN BUILDING COUNCIL – USGBC. **LEED for schools for new construction and major renovations**. Washington, D.C., 2007.

VASCONCELOS, V. I. R. **Aprendizagem baseada na resolução de problemas no ensino fundamental II**: um debate sobre a implantação do parque municipal urbano Sítio Batalha, Vila Velha – ES. 2021. 160 f. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências e Matemática) – Instituto Federal do Espírito Santo, Vila Velha, 2021.

VIANA, V. J.; JOHNSSON, R. M. F. Disaster risk reduction associated with floods: a new approach in Brazilian public policies. **Semioses**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 3, p. 19-32, 2017.

VIEIRA, S. R.; CAMPOS, M. A. T.; MORAIS, J. L. Indicadores para avaliação das políticas públicas de Educação Ambiental nas escolas: uma análise à luz do ciclo de políticas e da teoria da atuação. **Educar em Revista**, Curitiba, v. 37, e78220, 2021.

WESTIN, F. F.; ARAÚJO, B. O.; LEAL, J. C. R. B. **Anuário estadual de mudanças climáticas**: janeiro de 2025. Rio de Janeiro: Centro Brasil no Clima; Instituto Clima e Sociedade, 2025. Disponível em: https://centrobrasilnoclima.org/wp-content/uploads/2025/01/ANUARIO-ESTADUAL-DE-MUDANCAS-CLIMATICAS_CBC-ICS_2025_FEV-.pdf. Acesso em: 8 set. 2026.

WINNARD, J.; LEE, J.; SKIPP, D. Putting resilient sustainability into strategy decisions case studies. **Management Decision**, Bingley, v. 56, n. 7, p. 1598-1612, 2018. DOI: https://doi.org/10.1108/MD-11-2017-1124.

YIN, R. K. **Qualitative research from start to finish**. Porto Alegre: Penso Editora, 2016.

YUNES, M. A. M. **A questão triplamente controvertida da resiliência em famílias de baixa renda**. 2001. 166 f. Tese (Doutorado em Psicologia) – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2001.

ZAFEIROPOULOS, G.; DRINIA, H. Effectiveness of the Geoeducational Assessment Method (GEOAM) in unveiling geoeducational potential: a case study of Samos. **Geosciences**, Basel, v. 13, n. 11, p. 336, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/geosciences13110336.

Authors contribution

ABF: Conceptualization, Methodology, Data management, Data collection, Statistical analysis, Data analysis, Resources, Visual data preparation, Writing, and Revision. DO: Resources, Data analysis, Validation, Writing, and Revision. FAF: Conceptualization, Methodology, Data analysis, Raising funds, Validation, Writing, Revision, and Project administration.

Editor: Prof. Dr. José Luís Bizelli

Supplementary Material

Supplementary material accompanies this paper.

Supplementary material 1. Questionários

Supplementary material 2. Boxplots dos resultados

Supplementary material 3. Análise estatística

Supplementary material 4. Mapas mentais referentes aos ODS

Supplementary material 5. Conformação indicadores Sustentabilidade x ODS

This material is available as part of the online article from https://doi.org/10.21723/riaee.v21i00.1944902

3 PROPOSIÇÃO E VALIDAÇÃO DE FERRAMENTA INTEGRADA DE CERTIFICAÇÃO ESCOLAR DE SUSTENTABILIDADE E RESILIÊNCIA (CESR)

Nota: esta minuta de artigo apresenta a proposição original da ferramenta CESR, desenvolvida nesta dissertação, e será submetida a periódico internacional da área (Sustainable Cities and Society) após a incorporação das contribuições da banca examinadora. O texto segue a estrutura de artigo científico da ABNT NBR 6022, com referências próprias ao final do capítulo, elaboradas conforme a ABNT NBR 6023, e será adaptado às normas da revista na submissão.

RESUMO

A avaliação da sustentabilidade em ambientes educacionais exige rigor metodológico e adequação contextual. Este artigo apresenta o desenvolvimento, a validação e a priorização da ferramenta de Certificação Escolar de Sustentabilidade e Resiliência (CESR), aplicável a unidades de educação formal. A partir de indicadores de sustentabilidade e resiliência, e de parâmetros fundamentados em caracterização de 21 escolas públicas da Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte em São Paulo, Brasil, estratificadas pelo Índice de Desenvolvimento Humano Municipal. Os 98 indicadores resultantes, distribuídos em quatro eixos, Estrutura Física (EF), Educação para a Sustentabilidade (EpS), Gestão (GES) e Resiliência (RES), foram submetidos a um Delphi de duas rodadas, com consensualidade operacionalizada por critério multidimensional (pertinência ≥ 75%, IQR ≤ 2,0 ou CV ≤ 35%); e estabilidade entre rodadas, complementado por α de Cronbach, Wilcoxon, Spearman e W de Kendall; em seguida, aplicaram-se o AHP hierárquico, para ponderar os eixos, e o DEMATEL, para mapear relações causais. Considerando a segunda rodada, 81 dos 98 indicadores (82,65%) foram consolidados; a confiabilidade interna por eixo foi elevada (α de Cronbach entre 0,81 e 0,95), com α global de 0,58, e os *rankings* mantiveram-se estáveis (Wilcoxon $p = 0,098$; Spearman $\rho = 0,57$). A AHP atribuiu pesos equilibrados, liderados pelo eixo RES (27,06%), com robustez confirmada por análise de Monte Carlo, e o DEMATEL posicionou a GES como vetor causal e a EpS como efeito. Os achados fundamentam uma ferramenta de certificação em quatro patamares (Bronze, Prata, Ouro e Platina), oferecendo um instrumento transparente, replicável e operacionalmente viável para escolas públicas brasileiras.

Palavras-chave: Método Delphi; AHP; DEMATEL; certificação escolar; indicadores; sustentabilidade; resiliência climática.

ABSTRACT

Sustainability assessment in educational settings requires methodological rigor and contextual adaptation. This article presents the development, validation, and prioritization of the School Certification for Sustainability and Resilience (CESR) tool, applicable to formal education institutions. Drawing on sustainability and resilience indicators and on parameters grounded in the field characterization of 21 public schools in the Metropolitan Region of Vale do Paraíba and North Coast, São Paulo, Brazil, stratified by the Municipal Human Development Index, the resulting 98 indicators, distributed across four axes Physical Structure (PS), Education for Sustainability (EfS), Management (MGT), and Resilience (RES), were submitted to a two-round Delphi, with consensus operationalized through a multidimensional criterion (relevance ≥ 75%, IQR ≤ 2.0 or CV ≤ 35%, and between-round stability), complemented by Cronbach's α, Wilcoxon, Spearman, and Kendall's W. Hierarchical AHP was then applied to weight the axes, and DEMATEL to map causal relationships. By the second round, 81 of the 98 indicators (82.65%) were consolidated; internal reliability per axis was high (Cronbach's α between 0.81 and 0.95), with an overall α of 0.58, and the rankings remained stable (Wilcoxon $p = 0.098$; Spearman $\rho = 0.57$). AHP assigned balanced weights, led by Resilience (27.06%), with robustness confirmed by Monte Carlo analysis, and DEMATEL positioned Management as a causal driver and EfS as an effect. These findings underpin a four-tier certification tool (Bronze, Silver, Gold, and Platinum), providing a transparent, replicable, and operationally feasible instrument for Brazilian public schools.

Keywords: Delphi method; AHP; DEMATEL; school certification; indicators; sustainability; climate resilience.

Destaques (Highlights)

- A CESR integra sustentabilidade e resiliência em 98 indicadores e quatro eixos
- Delphi de duas rodadas consolidou 81 indicadores (82,65%); W de Kendall = 0,89
- O AHP atribuiu o maior peso ao eixo Resiliência (27,06%), robusto sob Monte Carlo
- O DEMATEL identificou a Gestão como única causa líquida do sistema avaliado
- Certificação em quatro patamares, viável em escolas públicas de baixa capacidade

INTRODUÇÃO

As escolas são ambientes ideais para a implementação de ações de sustentabilidade, pois podem ampliar intervenções ambientais e comportamentais em nível populacional (Mylonas et al., 2025). Este cenário é possível pela diversidade étnica e socioeconômica do público atendido por estas instituições (Fathi et al., 2023). Além disso, a dispersão territorial dessas unidades, bem como a obrigatoriedade de matrícula em alguns países, garante que a maior parte dos cidadãos passem por estas instituições durante ao menos uma fase de suas vidas (Kim; Go, 2020). Tais aspectos tornam as escolas pontos estratégicos para difusão de práticas sustentáveis que contribuem para que os alunos-cidadãos sejam mais conscientes de seus impactos no meio ambiente e possam corroborar para transformar suas atitudes em esfera local, nos diferentes contextos e realidades sociais (Santos et al., 2022).

A despeito de sua relevância, a operação das escolas gera impactos ambientais e sociais que impulsionam a busca por estratégias capazes de integrar práticas sustentáveis, em suas diferentes dimensões e a realização de atividades que possam contribuir para a formação de toda a comunidade escolar. Dessa forma, a sustentabilidade no contexto educacional busca promover práticas cotidianas integradas a questões estruturais e curriculares (Chen *et al*., 2022), mas cujos resultados demandam mensuração adequada. Monitorar e avaliar continuamente as ações escolares é fundamental para fortalecer conhecimentos, habilidades e atitudes que contribuam para atenuar as problemáticas socioambientais (Saraiva; Almeida; Bragança, 2019; Mora; Vilches; Ospina, 2022).

As ferramentas capazes de avaliar de forma sistemática as práticas sustentáveis em unidades escolares ainda são incipientes (Chen et al., 2022), apesar da existência de políticas e programas educacionais com foco na transição de escolas para a sustentabilidade. Estas estruturas diferenciam-se quanto ao escopo, ao nível de ensino e ao território de aplicação (Ledesma; Nikolic; Pons-Valladares, 2020). Tais dimensões são essenciais para identificar o que cada ferramenta é capaz de mensurar e a sua aplicabilidade, delimitando o alcance de cada instrumento e as barreiras existentes para ampliação do uso (Mora; Vilches; Ospina, 2022).

No que se refere ao escopo, as principais abordagens estão centradas em aspectos específicos da sustentabilidade escolar. Algumas avaliam aspectos estruturais, relativos à fase de implantação da edificação escolar (Saraiva; Almeida; Bragança, 2019), outras se voltam a aspectos operacionais, como alimentação escolar e geração de resíduos (Sundin et al., 2024),

gestão de recursos hídricos (Praveena; Themudu, 2022), consumo de recursos energéticos (Masseck et al., 2024) e há, ainda, aquelas centradas em aspectos educacionais das atividades de Educação para a Sustentabilidade (EpS) (Santos et al., 2022). Programas de base pedagógica e participativa, como o *Eco-Schools* (Eco-Schools, 2021), que mobiliza currículo, gestão e comunidade em torno de metas socioambientais, elementos reconhecidos como estruturantes da escola sustentável (Moreira, 2012).

Quanto ao nível de ensino, há maior consolidação de instrumentos voltados ao ensino superior, como o *UI GreenMetric* e o *STARS* (Siqueira; Ferreira; Fiore, 2023). Para a educação básica, as iniciativas são mais recentes e, em geral, restritas a recortes específicos (Saraiva; Almeida; Bragança, 2019). Quanto às questões territoriais, a eficácia desses instrumentos depende de sua adequação às especificidades locais de cada região (Zafeiropoulos; Drinia, 2023), o que dificulta a transposição direta de modelos consolidados para outros contextos (Mora; Vilches; Ospina, 2022). Adicionalmente, as barreiras culturais, sociais e financeiras, ainda restringem a adesão das unidades escolares (Saraiva et al., 2019) e a melhora do desempenho ambiental local a partir dos ambientes educacionais (Kim; Go, 2020).

No Brasil, a avaliação e o monitoramento da Educação Ambiental foram recentemente institucionalizados no âmbito da Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA, Brasil, 1999). Mais recentemente a Portaria MMA/GM nº 1.715/2026 instituiu o Programa Nacional de Avaliação e Monitoramento da Educação Ambiental (ProNAMEA), que estabelece, entre suas diretrizes, a construção participativa de indicadores e metodologias e o uso de estratégias de avaliação como instrumento de autoavaliação institucional e de aprendizagem coletiva (Brasil, 2026). Esse marco normativo reforça uma demanda já registrada na literatura nacional por indicadores voltados à Educação Ambiental escolar (Vieira; Campos; Morais, 2019) e fortalece a adoção de instrumentos sistemáticos de mensuração da sustentabilidade nas escolas.

Nesse cenário, propostas recentes têm avançado na sistematização de indicadores aplicáveis à educação básica, como a de Souza et al. (2024) que definiram indicadores de avaliação da sustentabilidade para unidades escolares a partir da sobreposição de ferramentas amplamente consolidadas e da validação por especialistas, organizados em três eixos: Educação para a Sustentabilidade, Gestão e Estrutura Física. Esses eixos articulam, respectivamente, as dimensões pedagógica, gerencial e estrutural da sustentabilidade escolar, elementos estruturantes da escola sustentável (Moreira, 2012). A proposta de inclusão do eixo

específico de resiliência com vistas à análise integrada da sustentabilidade escolar (Ferreira; Olivato; Fiore, 2026), em complemento ao trabalho de Souza *et al*. (2024), corroborou para a ampliação da abrangência da avaliação, pois trouxe indicadores voltados à Educação em Redução de Riscos de Desastres (ERRD) (Selby; Kagawa, 2012), cruciais para o enfrentamento da crescente frequência e magnitude dos desastres socioambientais.

Apesar dos avanços recentes para aumentar a resiliência e a sustentabilidade das unidades escolares, verifica-se a carência de instrumentos que integrem múltiplas dimensões de sustentabilidade em uma única estrutura avaliativa, de modo que submetam o conjunto de indicadores a uma validação rigorosa por especialistas, e sejam capazes de operacionalizar a priorização de critérios mediante técnicas estabelecidas de Apoio Multicritério à Decisão (AMD), como Analytic Hierarchy Process (AHP) e *Decision Making Trial and Evaluation Laboratory* (DEMATEL) (Saaty, 2008; Tzeng; Huang, 2011). O presente artigo busca preencher esta lacuna científica, tendo por objetivo apresentar a construção e a validação de uma ferramenta de Certificação Escolar de Sustentabilidade e Resiliência (CESR) por meio de um processo Delphi multidimensional.

Em vista disso, apresenta a construção, validação e priorização da ferramenta CESR por meio de uma combinação multimétodo entre Delphi, AHP e DEMATEL. A originalidade deste artigo reside na: a) proposição de um critério multidimensional de consenso (pertinência + IQR + CV + estabilidade entre rodadas), que reduz a dependência exclusiva do coeficiente W de *Kendall*, limitação alertada por Schmidt (1997) e Von Der Gracht (2012); b) na preservação dos itens já validados, evitando o "ruído de reavaliação" detectado em painéis longitudinais (Holey et al., 2007); c) na integração formal Delphi, AHP, DEMATEL, conforme arranjo proposto por Hsu, Lee e Kreng (2010) e adotado em estudos recentes de sustentabilidade aplicada (Goyal et al., 2025). Esse estudo alinha-se com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) 4, 11 e 13, pois oportuniza a promoção da educação ambiental, da gestão sustentável dos recursos e a ampliação da resiliência nas instituições educacionais frente aos desafios ambientais e sociais contemporâneos.

METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida em 6 etapas integrativas e complementares, conforme representado na Figura 1. Fez adoção de abordagem metodológica mista, que combinou métodos qualitativos e quantitativos, com o intuito de garantir análise abrangente e robusta

dos elementos estruturantes da ferramenta de certificação para desempenho ambiental proposta para as escolas públicas. Destaca-se que antes do início de suas atividades, a pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CAAE 85119624.2.0000.0077; Parecer nº 7.300.573).

Figura 1 – Etapas da metodologia.



Fonte: Autores (2026).

Conjunto inicial de indicadores

O conjunto inicial de indicadores dessa pesquisa foi construído a partir de duas fontes complementares: os indicadores de sustentabilidade escolar propostos e validados por Souza et al. (2024), organizados em Educação para a Sustentabilidade (EpS), Gestão (GES) e Estrutura Física (EF); e, os indicadores de Resiliência (RES) estruturados em eixo específico

(Ferreira; Olivato; Fiore, 2026). Da sobreposição e harmonização dessas fontes resultou um conjunto preliminar de 98 indicadores, distribuídos pelos quatro eixos. Os indicadores foram associados com as normativas e ferramentas internacionais, como as NBR ISO 37120, 37122 e 37123 (ABNT, 2017, 2020, 2021), e com programas como A3P (Brasil, 2020), *Eco-Schools* (Eco-Schools, 2021), ODS (ONU, 2015), *LEED Schools* (USGBC, 2007) e *AQUA-HQE* (Fundação Vanzolini, [2011]), de modo a subsidiar a classificação dos indicadores em níveis de desempenho e a descrição dos patamares de sustentabilidade e resiliência adotados para a proposição da certificação nas etapas futuras.

Seleção e caracterização das unidades escolares

Foram determinados critérios de seleção para as unidades escolares públicas que participaram do reconhecimento dos parâmetros associados aos indicadores da ferramenta (Souza *et al.*, 2024; Ferreira; Olivato; Fiore, 2026) de modo a garantir representatividade e diversidade territorial. Assim, foram selecionadas escolas públicas municipais e estaduais, localizadas em áreas urbanas e rurais da Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte (RMVPLN), São Paulo, Brasil. A região foi estabelecida como referencial para o estudo de caso em função de sua diversidade e da variação de porte e de condições socioeconômicas entre seus municípios (Anazawa; Monteiro, 2023), além de distintos graus de vulnerabilidade e de exposição a eventos climáticos extremos (Vieira et al., 2023). Essa composição permite reconhecer os parâmetros da ferramenta em contextos escolares contrastantes, para construção de índices comparáveis de sustentabilidade por meio da verificação das condições escolares existentes (Ledesma; Nikolic; Pons-Valladares, 2020). A inserção da região em uma rede urbana nacional organizada em regiões metropolitanas reforça o potencial de comparação com outros territórios do país (IBGE, 2020).

Por meio da amostragem estratificada (Acharya et al., 2013), buscou-se garantir a representação das diferentes características socioeconômicas das cinco sub-regiões da RMVPLN, abrangendo municípios com diferentes faixas de Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) (PNUD; IPEA; FJP, 2013). A amostragem considerou o intervalo recomendado por Yin (2016) e Marshall et al. (2013), verificando-se critérios como macrorregiões socioeconômicas, porte das escolas, níveis de ensino e comunidade atendida (Vieira; Claro; Assunção, 2019). Ao todo, foram visitadas 21 escolas (19 urbanas e 2 rurais), amostradas proporcionalmente ao total regional de 1.304 unidades alocadas no território

(INEP, 2020). Cada escola participante, em caráter voluntário, indicou um docente para acompanhar as atividades subsequentes, e o cronograma de visitas seguiu o Planejamento Estratégico Situacional (Gentilini, 2014). Os formulários utilizados para o reconhecimento de parâmetros foram disponibilizados como Material Suplementar 1 (disponível em: https://drive.google.com/drive/folders/1Sgik6YL1dq4eSaM--68Fy13jhq5kKh-y?usp=sharing).

Coleta e parametrização dos indicadores

Os parâmetros, apresentados por Ferreira, Olivato e Fiore (2026), foram avaliados e adaptados a partir do estudo de caso nas 21 escolas selecionadas, de modo a refletir as práticas efetivamente observadas em campo. A coleta de informações empregou dois instrumentos: questionários estruturados, aplicados em observação local (Groves et al., 2009; Prabawa-Sear; Dow, 2018; Machado; Matos; Mesquita, 2022) na plataforma *Google Forms*, e análise documental dos registros escolares (Moreira, 2005), complementados por entrevistas semiestruturadas com a gestão escolar, mediante Termo de Consentimento (Material Suplementar 2, disponível em: https://drive.google.com/drive/folders/183Jiacc_mUnFg4pjGOSSLAy03D8Y9f8f?usp=drive_link). A partir do cruzamento dos resultados obtidos, foram levantados os parâmetros com potencial de representação agregada das realidades escolares em indicadores, conforme as evidências locais (Dos Santos, 2004).

A análise quantitativa das informações coletadas empregou estatísticas descritivas e inferenciais, e a qualitativa baseou-se na análise de conteúdo (Bardin, 2011; Silva; Fossá, 2015). A hierarquia de indicadores foi organizada em quatro níveis, Eixo › Categoria › Subcategoria › Parâmetro, com o último nível derivado diretamente das evidências empíricas observadas nas escolas. Nesta etapa, os 98 indicadores, parametrizados, constituíram o objeto da validação**.**

Aplicação do método Delphi

O método Delphi (Dalkey; Helmer, 1963) foi aplicado com o objetivo de coletar as percepções de especialistas sobre os indicadores e parâmetros mais apropriados para compor a certificação ambiental de unidades escolares, customizados na fase anterior. Esta

técnica de avaliação foi realizada em duas rodadas com vistas a alcançar um consenso sobre a estrutura de certificação proposta. Em função dos eixos previamente estabelecidos, a seleção dos especialistas foi realizada de modo que fossem selecionados profissionais com ampla experiência nas áreas de sustentabilidade, educação ambiental, gestão escolar e resiliência (Yin, 2016).

A seleção atendeu aos critérios de Hsu e Sandford (2007), heterogeneidade de origem (academia, secretarias de educação, ONGs e iniciativa privada), titulação mínima de especialização e atuação prática mínima de cinco anos. Conduziram-se duas rodadas: na R1, 14 especialistas avaliaram os 98 indicadores (EF 4 especialistas; EpS 4; GES 3; RES 3), enquanto na R2, 13 especialistas reavaliaram apenas os itens divergentes (EF 3; EpS 4; GES 3; RES 3), com taxa de retorno de 92%, adequada para painéis de média duração (Hasson et al., 2000). Após cada rodada, calcularam-se medidas de tendência central e dispersão (Flostrand; Pitt; Bridson, 2020) e o coeficiente de concordância de *Kendall* (Procházková et al., 2021).

A composição do painel seguiu amostragem intencional (não probabilística), exigida em estudos Delphi fundamentada na qualidade e na competência temática dos especialistas (Hsu; Sandford, 2007; Acharya et al., 2013). Os especialistas foram estratificados por eixo, de modo que cada dimensão fosse julgada por quem domina seu conteúdo, e o tamanho do painel, 14 especialistas na R1, três a quatro por eixo, situa-se na faixa considerada adequada para painéis Delphi homogêneos e de domínio específico (Hasson et al., 2000; Hsu; Sandford, 2007).

Foram aplicados questionários digitais autoaplicáveis e semiestruturados, respondidos de forma assíncrona e individual, combinando questões fechadas de julgamento, itens dicotômicos para pertinência e clareza, escala ordinal de três níveis para o grau de exigência, escala de 1 a 10 para criticidade e *Likert* (Likert, 1932) de cinco pontos para a adequação técnica do protocolo de mensuração, com campo aberto para observações e sugestões (Hasson et al., 2000; Hsu; Sandford, 2007). Na R1, cada parâmetro foi apresentado com sua cadeia hierárquica completa e com o protocolo de mensuração proposto (unidade, método, fonte e periodicidade), julgando-se ainda a viabilidade operacional em categorias de custo, complexidade e tempo de coleta, com faixas monetárias e temporais explícitas nas instruções. Na R2, operacionalizou-se o *feedback* controlado característico do método: apenas os itens sem consenso retornaram ao painel, acompanhados das estatísticas do grupo e das sugestões anonimizadas da R1, com exigência de justificativa técnica para divergências

mantidas, enquanto os itens consensuais foram preservados sem reavaliação (Schmidt, 1997), os formulários estão disponíveis como Material Suplementar 3 (disponível em: https://drive.google.com/drive/folders/1pA9vYnozbeelpboDYtMxJvxLHORkCpfb?usp=sharing).

Adotou-se critério multidimensional de consenso, onde um indicador–parâmetro foi considerado validado em uma rodada ao atender simultaneamente: (a) concordância de pertinência ≥ 75% (Diamond et al., 2014); (b) IQR ≤ 2,0 da criticidade, em escala de 0 a 10 (Von Der Gracht, 2012); (c) CV ≤ 35% da criticidade (Von der Gracht, 2012); e (d) ao menos dois respondentes válidos. Os critérios (b) e (c) operaram de modo complementar–disjuntivo, ou seja, o atendimento a um deles é suficiente para o teste de dispersão, pois, em painéis pequenos, o CV pode ser inflado por médias baixas, tornando o IQR mais informativo (Holey et al., 2007). Aplicou-se ainda uma regra de preservação em itens já consensuados na R1 não foram reavaliados (Hasson et al., 2000; Hsu; Sandford, 2007), definindo-se três status, validado na R1 (preservado), validado na R2 (após reavaliação), e divergente após R2, os divergentes foram mantidos como indicadores de perfil (contextuais), com peso reduzido.

Os limiares foram fixados *a priori*, por convenção e interpretabilidade, 75% exige maioria clara de três quartos, o IQR ≤ 2,0 mantém a metade central das notas de criticidade (escala 0–10) dentro de uma faixa de dois pontos, ou seja, concordância efetiva quanto ao nível de importância, e o CV ≤ 35% limita a dispersão relativa para itens cuja média é alta o bastante para o coeficiente ser estável, cabendo ao IQR os casos de média baixa em que o CV é instável. Destaca-se que esses são marcos usuais de consenso em Delphi (Diamond et al., 2014).

A confiabilidade interna das rodadas de validação foi avaliada pelo α de *Cronbach* (Cronbach, 1951; Tavakol; Dennick, 2011), calculado por eixo em razão do desenho por afinidade temática. A estabilidade entre rodadas foi examinada pelo teste de *Wilcoxon* pareado e pela correlação de *Spearman* entre os *rankings*; a convergência interna de cada eixo foi sintetizada pelo *W* de *Kendall* (Schmidt, 1997). Todas estas análises foram realizadas em processamento dos dados brutos via *Python* (pandas, scipy), com *scripts* disponibilizados em repositório aberto (https://github.com/arthbispo/Certifica-o-Escolar), para assegurar a reprodutibilidade (Material Suplementar 4, disponível em: https://drive.google.com/drive/folders/1NnPUxxvwgNOUxbZsOGEU7ZcaztvDCKXm?usp=sharing).

Priorização Analytic Hierarchy Process (AHP) e modelagem causal (DEMATEL)

Para o conjunto validado e organizado de modo hierárquico em cinco níveis (Eixos › Categorias › Subcategorias › Indicadores › Parâmetros) e em concordância com as prioridades médias de cada elemento, obtidas das pontuações de criticidade atribuídas pelos especialistas (escala 0–10), aplicou-se o AHP (Saaty, 1980, 2008). Por ser empregado após o Delphi, o AHP dispensou novas comparações pareadas diretas, em cada nível. A matriz de comparação foi reconstruída a partir do vetor de prioridades médias ($a_{ij} = w_i/w_j$), abordagem AHP-Delphi, que preserva o esforço cognitivo dos respondentes e mantém a coerência entre etapas, de modo que a consistência foi verificada pela razão de consistência ($CR \leq 0{,}10$) (Hsu; Lee; Kreng, 2010). Cabe destacar que, por serem reconstruídas de um único vetor de prioridades, essas matrizes são consistentes por construção ($CR = 0$).

Para avaliar a robustez dos pesos à incerteza dos julgamentos, conduziu-se uma análise de sensibilidade de Monte Carlo (Eskandari; Rabelo, 2007). A entrada foi a matriz pareada entre os quatro eixos (EF; EpS; GES; e RES), reconstituída de forma consistente a partir das prioridades médias do painel. Em cada uma das 10.000 iterações, cada elemento da matriz foi multiplicado por um fator lognormal ($\sigma = 0{,}30$; $\approx \pm 1$ ponto na escala de Saaty (2008)), simulando a imprecisão com que um especialista distingue a importância relativa entre dois eixos, o vetor de prioridades foi recalculado, a cada iteração, pela média geométrica das linhas da matriz perturbada. Como saída, a distribuição do peso de cada eixo foi caracterizada pelo intervalo de 95% (percentis 2,5–97,5), pelo desvio-padrão, pela probabilidade de o eixo ocupar a primeira posição (Hahn, 2003) e pela razão de consistência das matrizes perturbadas.

O DEMATEL foi fundamentado na hipótese de que critérios e os eixos da ferramenta de certificação possuem relações causais, alguns de causa (geram efeitos sobre outros) e outros são efeito (recebem influências) (Zhang *et al*., 2023). A partir de uma matriz de influência direta A (escala 0–4, diagonal nula), normalizou-se $X = A/s$, calculou-se a matriz de relação total $T = X \cdot (I - X)^{-1}$ e derivam-se D (influência exercida, soma das linhas) e R (influência recebida, soma das colunas). A proeminência (D + R), quando um eixo exerce influência mais quanto ele recebe) expressa a centralidade de um eixo, e a relação líquida ($D - R$) o classifica como causa ($D - R > 0$) ou efeito ($D - R < 0$). As relações de T acima de um limiar α (em geral, a média + 1σ dos valores de T), definiram o mapa de relacionamento da rede influente (INRM) (Si et al, 2018), constituída nos níveis de eixo e de fator (Wu, 2021).

Como duas das rodadas Delphi já haviam sido concluídas, optou-se, por preencher a matriz de influência direta de modo que as dependências estruturais já documentadas entre eixos e fatores na construção dos indicadores e no mapeamento das normas ISO 37120/37122/37123 (ABNT, 2017, 2020, 2021), e não por uma rodada de elicitação adicional, a fim de limitar a sobrecarga dos respondentes. A parametrização dedutiva é prática aceitável no DEMATEL, quando há um modelo estrutural defensável (Tzeng; Huang, 2011). Assim, as matrizes e os mapas reportados foram computados a partir da lógica estrutural da ferramenta e de sua fundamentação teórica, na escala 0–4 (Souza et al., 2024; Ferreira; Olivato; Fiore, 2026).

Proposta de ferramenta de Certificação Escolar de Sustentabilidade e Resiliência (CESR)

A ferramenta de Certificação Escolar de Sustentabilidade e Resiliência (CESR) para unidades escolares proposta fez uso do modelo de inclusão de dados pela organização avaliada, baseado em uma adaptação do modelo de *input* de dados programa de Certificação de Turismo Sustentável (CST) da Costa Rica (ICT, 2025). Desenvolvida em formato de *check-list*, permitindo que as escolas autoavaliem anualmente seu desempenho com base nos indicadores e parâmetros estruturados. Deste modo, as instituições de ensino podem ser certificadas em patamares progressivos, definidos a partir de critérios de pontuação organizados por eixo, categorias, subcategorias, indicadores e parâmetros (Ferreira; Olivato; Fiore, 2026). Os indicadores foram classificados pela tipologia da ABNT NBR ISO 37120 (ABNT, 2017) em essenciais, de apoio e de perfil, cada qual com um multiplicador de peso (1,00; 0,50; 0,25), de modo que o peso final combina critérios ponderados por prioridade e tipo (Zafeiropoulos; Drinia, 2023).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A apresentação dos resultados possui a mesma cadeia lógica do percurso metodológico, onde o resultado da etapa anterior constitui o início da etapa seguinte, iniciando no conjunto inicial de indicadores à validação por especialistas, à ponderação, à modelagem causal e, por fim, à ferramenta de certificação. A cada bloco, os resultados do estudo são discutidos à luz da literatura e relacionados à agenda das cidades sustentáveis, em

particular às normas ISO 37120, 37122 e 37123 e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 4, 11 e 13.

Conjunto inicial de indicadores e parâmetros

Da sobreposição e customização dos indicadores propostos e validados por Souza et al. (2024) e Ferreira, Olivato e Fiore (2026) resultou um conjunto preliminar de 98 indicadores, distribuídos pelos eixos EpS, GES, EF e RES. Este processo viabilizou a melhor comparação direta de taxa de consolidação/confiabilidade com outras ferramentas escolares (Hall et al., 2021). A integração dessas duas matrizes de indicadores materializa, no plano operacional, a recomendação de Roostaie, Nawari e Kibert (2019) de que a sustentabilidade e a resiliência, apesar de possuírem princípios distintos, devem ser consideradas em conjunto de estrutura comum de avaliação escolar.

A construção foi baseada em adaptação de diferentes ferramentas e segue a tendência apresentada por Saraiva, Almeida e Bragança (2019) e Sortwell et al. (2024) que derivaram a metodologia SAHSBPT do SBToolPT, a partir da análise integrada do LEED Schools, do BREEAM Education e do *SBTool for K-12*. Apesar de as ferramentas avaliarem escopos específicos como a fase de implantação, operação ou educacional, Saraiva et al. (2019), Kim e Go (2020) e Chen et al. (2022) demonstraram a necessidade de explicitar a dimensão educativa por meio de um indicador de conscientização em sustentabilidade, exatamente o papel que o eixo EpS desempenha na CESR proposta.

Para assegurar a rastreabilidade ao longo de todas as etapas de validação, ponderação e certificação, cada indicador recebeu um identificador único (ID) composto pelo prefixo do eixo e por numeração sequencial, assim sendo, Estrutura Física (EF_001 a EF_027), Educação para a Sustentabilidade (EPS_001 a EPS_018), Gestão (GES_001 a GES_030) e Resiliência (RES_001 a RES_023). Essa codificação permitiu a referência inequívoca de cada item nos diferentes instrumentos analíticos empregados, como a matriz Delphi, os pesos do AHP e o mapa causal do DEMATEL.

Dessa forma, os 98 indicadores foram distribuídos em 21 categorias, e o último nível (o parâmetro) correspondeu à variável efetivamente mensurada em campo. A Tabela 1 representa a faixa de IDs em função do seu eixo, com a respectiva quantidade de categorias e indicadores.

Tabela 1 – Distribuição dos indicadores codificados por tipo e eixo.

Eixo	Categorias	Indicadores	Faixa de IDs	Essencial (1,00)	Apoio (0,50)	Perfil (0,25)
Estrutura Física (EF)	4	27	EF_001–EF_027	9	9	9
Educação para Sustentabilidade (EpS)	5	18	EPS_001–EPS_018	9	9	0
Gestão (GES)	8	30	GES_001–GES_030	11	11	8
Resiliência (RES)	4	23	RES_001–RES_023	9	14	0
Total	**21**	**98**	—	**38**	**43**	**17**

Fonte: Autores (2026).

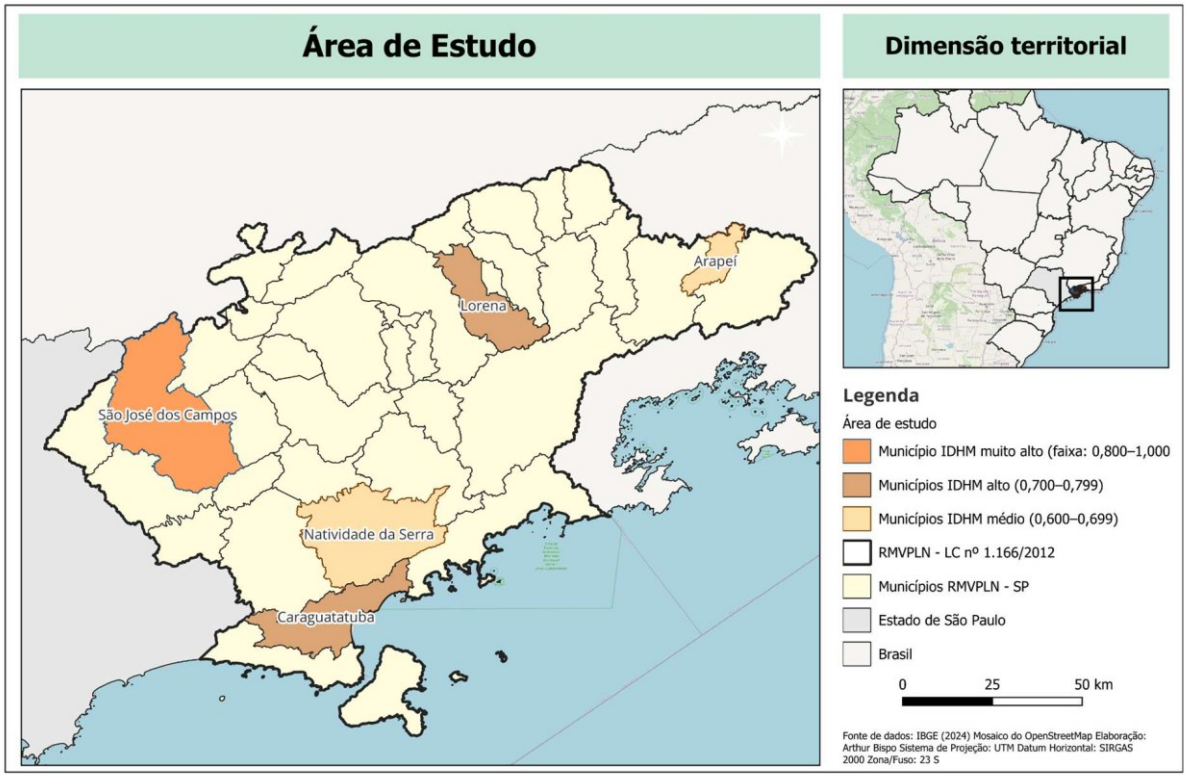
Os indicadores foram associados a normativas e ferramentas internacionais, as NBR ISO 37120, 37122 e 37123 (ABNT, 2017, 2020, 2021), complementarmente à programas como A3P, (Brasil, 2020), Eco-Schools (Eco-Schools, 2021), ODS, LEED Schools (USGBC, 2007) e AQUA (Fundação Vanzolini, [2011]). Essa equiparação normativa viabiliza a conexão de cada escola à mensuração de desempenho da própria cidade e região (Russo et al., 2021). Sob essa ótica, cada unidade escolar foi tratada como uma célula mensurável da infraestrutura urbana de serviços, e não como uma estrutura isolada, o que permite distinguir a abordagem do presente estudo das ferramentas centradas exclusivamente na edificação (Saraiva; Almeida; Bragança, 2019; Mora; Vilches; Ospina, 2022).

A distribuição por tipo de indicadores (essenciais, perfil e apoio) fundamentou a lógica de pré-requisitos e créditos da ferramenta. Assim sendo, os indicadores essenciais funcionam como condição mínima de cada patamar, ao passo que os indicadores de apoio e os de perfil podem ser incorporados de forma progressiva, sistema análogo à lógica do LEED e do BREEAM (Saraiva; Almeida; Bragança, 2019). Ressalta-se que os 17 indicadores de perfil se concentram em Estrutura Física e Gestão, justamente os eixos com itens divergentes, enquanto Educação para a Sustentabilidade e Resiliência não apresentam indicadores dessa categoria. Tratar os divergentes como indicadores de perfil, e não descartá-los, preserva informação contextual sem contaminar o núcleo validado, decisão coerente com a leitura de que o dissenso carrega valor (Lazarenko et al., 2024). Além disso, ao concentrar a exigência inicial no conjunto essencial e tratar os demais como complementares, o escalonamento viabiliza a adesão de escolas com recursos limitados, que podem progredir de forma gradual sem o estigma de reprovação (Bopape, 2022).

Seleção e caracterização das unidades escolares

A RMVPLN é composta por 39 municípios e dividida em cinco sub-regiões (São Paulo, 2012). Realizou-se a seleção de um município por sub-região (Acharya et al., 2013), seguida de amostragem proporcional às faixas de IDHM presentes na região (PNUD; IPEA; FJP, 2013): dois municípios de IDHM médio (Arapeí e Natividade da Serra), dois de IDHM alto (Lorena e Caraguatatuba) e um de IDHM muito alto (São José dos Campos). Participaram do estudo de caso dessa pesquisa 21 escolas, sendo 19 urbanas e 2 rurais, proporção (≈ 90% urbana e 10% rural) coerente com a distribuição regional das 1.304 escolas da RMVPLN (89% urbanas e 11% rurais) (INEP, 2020). A Figura 2 apresenta a área de estudo, com os municípios amostrados classificados por faixa de IDHM, as cinco sub-regiões e a localização das escolas.

Figura 2 – Municípios da Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte.



Fonte: Autores (2026).

A estratificação por IDHM buscou integrar a desigualdade territorial como variável do reconhecimento de parâmetros (Jiménez-Espada; Cuartero; Le Breton, 2022). Ao valorizar os saberes locais e a governança territorial, e ao prever que a adesão das unidades respeite a autonomia da gestão escolar (Brasil, 2026), o ProNAMEA sustenta a opção

metodológica por critérios diferenciados segundo o contexto socioeconômico. A diferenciação socioeconômica entre as escolas condiciona fortemente sua capacidade de resposta às pressões ambientais e climáticas (Vieira; Campos; Morais, 2019). Neste sentido, a sustentabilidade escolar está diretamente relacionada com o contexto territorial (Zhang; Cheng; Cui, 2021), recursos como água, energia, papel e equipamentos esgotam-se em diferentes escalas, comprometendo a continuidade de programas de sustentabilidade (Bopape, 2022), com a efetividade condicionada por aspectos regionais (Zhang; Cheng; Cui, 2021).

Ao garantir que as diferentes faixas de IDHM fossem representadas na amostragem, se buscou refletir contextos administrativos heterogêneos, do município de pequeno porte (Arapeí) ao polo regional (São José dos Campos) e operacionalizar, em escala escolar, os princípios do ODS 11.5 (reduzir a vulnerabilidade a desastres, com atenção às populações em situação de pobreza) e do ODS 13.1 (fortalecer a resiliência a riscos climáticos). Trata-se de um diferencial frente a instrumentos que pressupõem capacidade administrativa homogênea entre as unidades avaliadas (Mora; Vilches; Ospina, 2022). Esse contexto torna a região um território pertinente para o desenvolvimento de uma ferramenta que integra sustentabilidade e resiliência (Ferreira; Olivato; Fiore, 2026). No plano socioterritorial, os municípios da RMVPLN distribuem-se entre núcleos urbano-industriais de alta inserção tecnológica, áreas serranas, com ampla variação de porte e de condições socioeconômicas entre as redes municipais e estaduais (Anazawa; Monteiro, 2023).

Essa heterogeneidade aproxima o caso das condições observadas em regiões de países em desenvolvimento. A RMVPLN combina indicadores formais de desenvolvimento elevados com assentamentos precários situados em áreas suscetíveis a inundações e a movimentos de massa, onde se concentra a população mais vulnerável (Marchezini; Muñoz; Trajber, 2018), um padrão de urbanização desigual recorrente, em que o avanço econômico convive com *déficits* de infraestrutura e de serviços básicos. Condições análogas, são relatadas em estudos de sustentabilidade escolar na Colômbia, na África do Sul e na China rural (Mora; Vilches; Ospina, 2022; Bopape, 2022; Zhang; Cheng; Cui, 2021), países em desenvolvimento, o que reforça a pertinência da RMVPLN como referência para uma ferramenta replicável a realidades locais semelhantes.

A opção por estratificar a amostra segundo o IDHM insere-se em um quadro territorial mais amplo. No Brasil, a população é majoritariamente urbana: 87,4% dos habitantes residiam em áreas urbanas em 2022 (IBGE, 2025), o que desloca para as cidades boa parte das demandas por sustentabilidade e das respostas a riscos socioambientais (Trajber,

2019). Parte expressiva dessa população organiza-se em regiões metropolitanas, unidades territoriais voltadas ao enfrentamento de funções públicas de interesse comum, consolidadas em escala de planejamento a partir do Estatuto da Metrópole (Brasil, 2015). A RMVPLN integra esse arranjo (São Paulo, 2012). O recorte por IDHM adotado neste estudo opera como classificador dessa heterogeneidade, tornando a amostra representativa das distintas condições socioterritoriais da região e de outros países em desenvolvimento.

Essa organização insere as regiões metropolitanas em uma rede urbana nacional hierarquizada, sistematizada pela pesquisa Regiões de Influência das Cidades (IBGE, 2020), que classifica e torna comparáveis os centros urbanos segundo sua posição e suas áreas de influência. É essa lógica comum que permite situar diferentes contextos metropolitanos sob um mesmo referencial de avaliação. Assim, os parâmetros reconhecidos neste estudo, ainda que calibrados na RMVPLN, podem ser transferidos e adaptados, mediante validação local, a outras regiões metropolitanas de posição análoga na rede urbana, favorecendo a replicabilidade da ferramenta (Ledesma; Nikolic; Pons-Valladares, 2020).

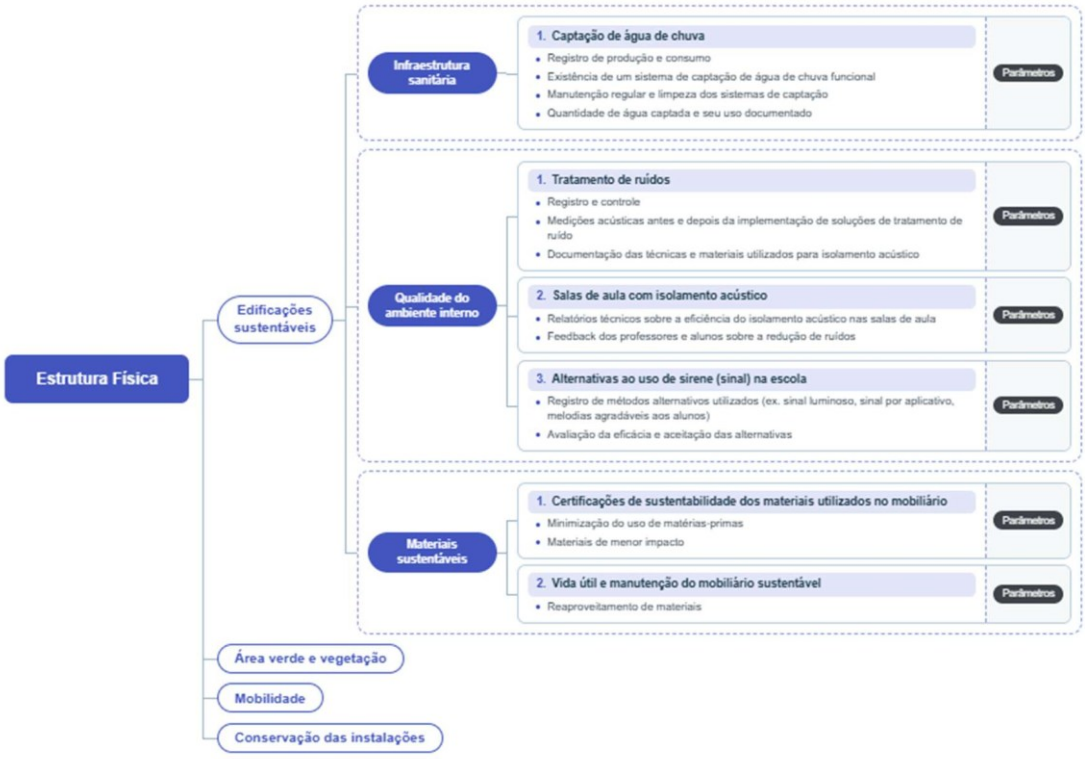
Coleta e análise de dados

Para avaliação de cada um dos 98 indicadores, adotou-se a lógica de aplicabilidade para cada uma das 21 escolas, a saber: para cada indicador classificado como aplicável àquela realidade escolar, indicavam-se os parâmetros representativos correspondentes; do contrário, o indicador era registrado como não aplicável. Esse procedimento permitiu derivar, a partir do cruzamento das evidências locais, os parâmetros com maior potencial de representação agregada das realidades escolares (Dos Santos, 2004).

A lógica de aplicabilidade responde diretamente a uma lacuna identificada na literatura, em contextos de baixa capacidade administrativa. Pois, pressupor o preenchimento de todos os parâmetros gera não conformidade artificial e inviabiliza a coleta de informações (Bopape, 2022). Selecionar parâmetros representativos por indicador aplicável preserva a comparabilidade entre escolas sem penalizar aquelas que, por sua natureza ou contexto, não comportam determinada prática (Jiménez-Espada; Cuartero; Le Breton, 2022). O procedimento aproxima-se, em escala escolar, do protocolo de reporte verificável de dados urbanos preconizado pela ABNT NBR ISO 37120 (ABNT, 2017) e CST (ICT, 2025), em que a pertinência do indicador ao contexto antecede sua mensuração.

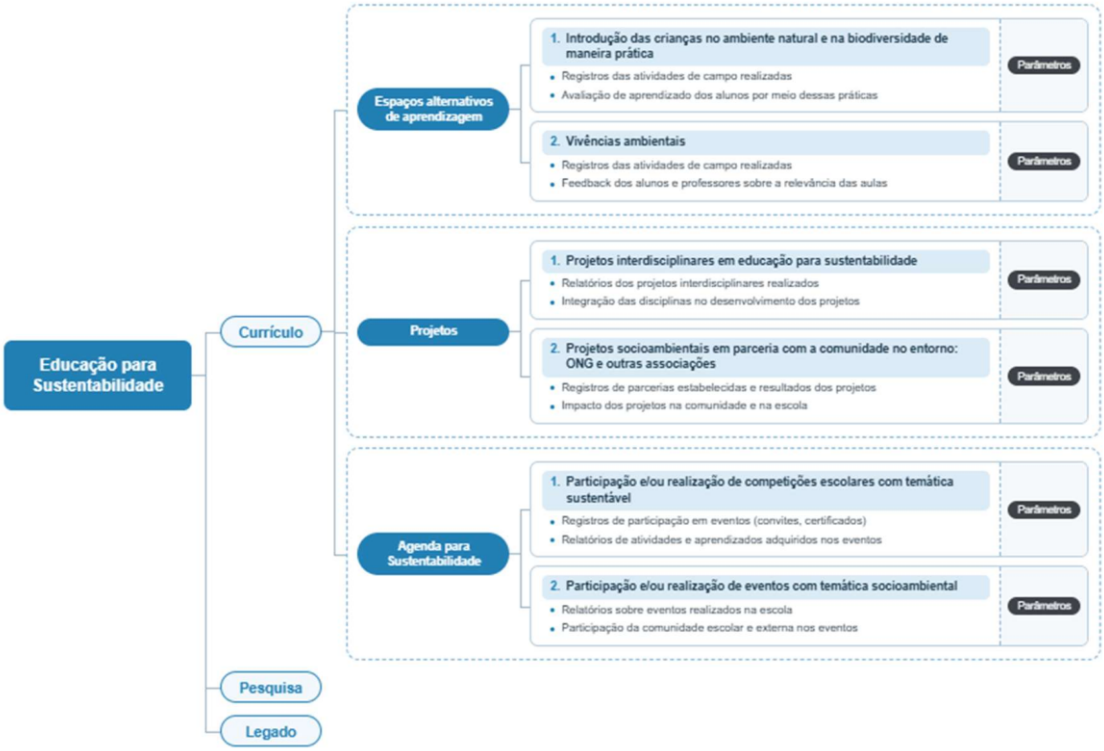
A hierarquia representada nas Figuras 3 (a – d) segue a estrutura conceitual composta pelos níveis de Eixo > Categoria > Subcategoria > Indicador > Parâmetro, sendo o último elemento derivado diretamente das evidências empíricas observadas nas unidades escolares. A estrutura em árvore, representada em formato de mapa mental (Moreira, 2005), permite organizar logicamente os critérios de avaliação, garantindo rastreabilidade metodológica, clareza na definição dos indicadores e alinhamento com abordagens utilizadas em certificações e sistemas de avaliação da sustentabilidade ambiental no ambiente construído. Nas Figuras 3 são representados de forma simplificada os parâmetros correspondentes a cada subcategoria, com suas respectivas evidências e formas de aferição, conforme concebido no processo de construção dos indicadores. Dada a limitação de espaço para representação, as versões integrais da estrutura de cada eixo estão dispostas no Material Suplementar 5 (disponível em: https://drive.google.com/drive/folders/1QgWtbMiXal3qKG2yS0UJo-HR9Xd9A10W?usp=sharing).

Figura 3-a – Parâmetros dos Indicadores Escola Sustentável e Resiliente: eixo 'Estrutura Física' > 'Edificações sustentáveis' > 'Subcategorias' > 'Parâmetros'



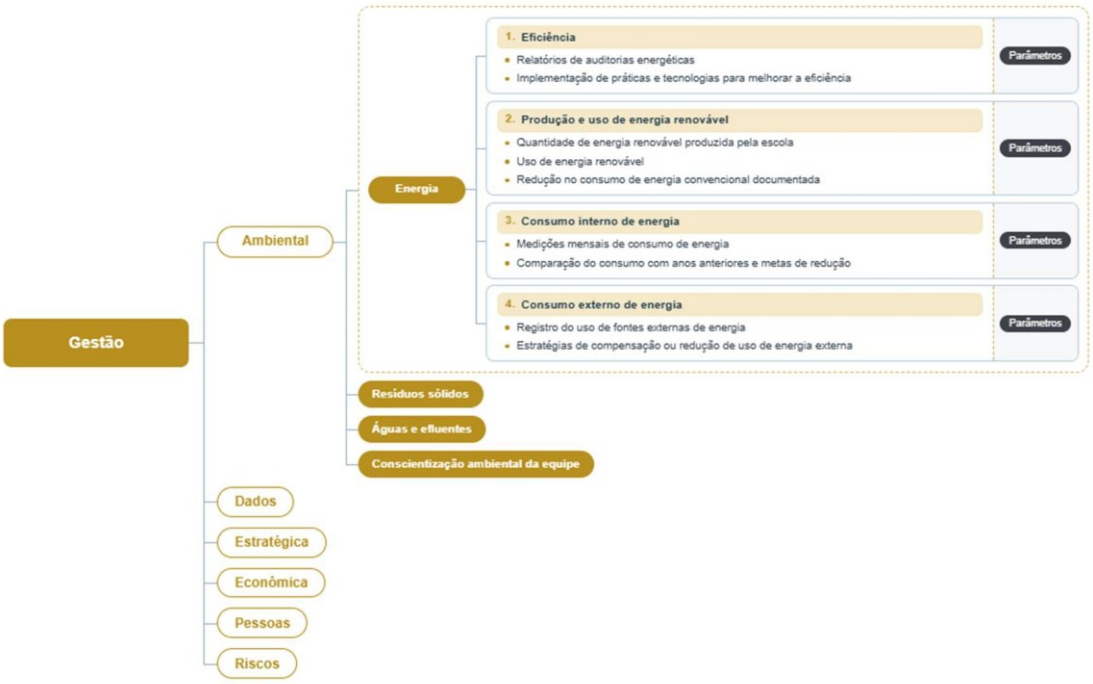
Fonte: Autores (2026).

Figura 3-b – Parâmetros dos Indicadores Escola Sustentável e Resiliente: eixo ‘Educação para Sustentabilidade’ > ‘Currículo’ > ‘Subcategorias’ > ‘Parâmetros’



Fonte: Autores (2026).

Figura 3-c – Parâmetros dos Indicadores Escola Sustentável e Resiliente: eixo ‘Gestão’ > ‘Ambiental’ > ‘Subcategorias’ > ‘Parâmetros’



Fonte: Autores (2026).

Figura 3-d – Parâmetros dos Indicadores Escola Sustentável e Resiliente: eixo ‘Resiliência’ > ‘Avaliação’ > ‘Subcategorias’ > ‘Parâmetros’



Fonte: Autores (2026).

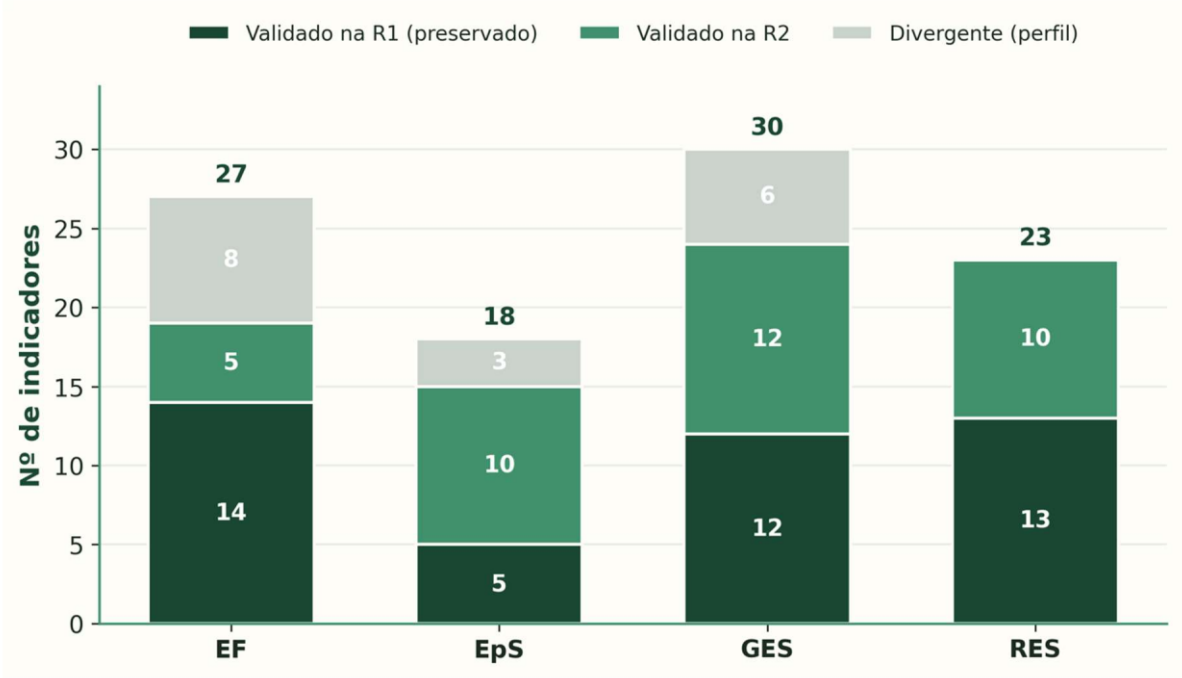
A construção dos parâmetros baseou-se na análise integrada de dados quantitativos e qualitativos das escolas da RMVPLN, estratificados por IDHM. A estratificação permitiu definir critérios diferenciados por contexto socioeconômico, contemplando demandas urbanas (captação de água e eficiência energética) (Praveena; Themudu, 2022; Sundin et al., 2024), e práticas rurais (hortas comunitárias e materiais locais) (Lei et al., 2023). A adaptação de instrumentos de avaliação às especificidades locais é condição reconhecida como fundamental (Saraiva; Almeida; Bragança, 2019; Mora; Vilches; Ospina, 2022). Neste sentido, a articulação de dados quantitativos e qualitativos pode assegurar que os indicadores não apenas mensurem práticas existentes, mas também orientem diretrizes e adaptações contextualizadas e alinhadas aos ODS, em busca de promover a sustentabilidade e resiliência escolar (Ferreira; Olivato; Fiore, 2026).

Validação pelo método Delphi – painel de especialistas

A validação foi conduzida em duas rodadas. Na R1, 14 especialistas avaliaram os 98 indicadores (EF 4; EpS 4; GES 3; RES 3); na R2, 13 especialistas reavaliaram apenas os itens divergentes, com taxa de retorno de 92%, adequada para painéis de média duração (Hasson et al., 2000). Aplicando-se a regra de preservação dos itens já consensuados em R1 (Hasson et al., 2000; Hsu; Sandford, 2007), o resultado consolidado é apresentado na Figura 4

dos 98 indicadores, 81 (83%) foram consolidados e 17 permaneceram divergentes, mantidos como indicadores de perfil (contextuais), com peso reduzido.

Figura 4 – Distribuição dos indicadores por eixo e status de validação.



Fonte: Autores (2026).

A análise estatística agregada evidencia ocorrências de desempenho metodológico robusto. A concordância intra-painel foi forte (W de Kendall global = 0,89; IC 95% 0,81–0,94; χ^2 = 378,6; p < 0,001), situando-se acima do limiar de consenso proposto por Schmidt (1997) e Hall *et al*., (2021), além de caracterizar acordo substancial entre os especialistas, magnitude pouco frequente em painéis Delphi multidimensionais. A robustez do coeficiente é reforçada pela significância do qui-quadrado associado e pela amplitude estreita do intervalo de confiança, que evidenciam o consenso com precisão.

A estabilidade entre rodadas foi confirmada pelo teste de *Wilcoxon* pareado (*p-valor* = 0,098), o resultado não significativo indicou ausência de deslocamento sistemático das medianas, comportamento desejável em processos iterativos, pois sinaliza que rodadas adicionais poderiam produzir ganhos marginais decrescentes de convergência (Schmidt, 1997). Esse critério de estabilização entre rodadas como condição de encerramento do processo foi o mesmo adotado em ferramentas multicritério de avaliação da sustentabilidade de edificações educacionais construídas por método Delphi (Masseck et al., 2024). A correlação de *Spearman* entre os rankings das rodadas (ρ = 0,57; p < 0,001), por sua vez, confirma a preservação da ordenação relativa dos indicadores, coeficiente apropriado para

variáveis ordinais que não atendem aos pressupostos de normalidade (Hines; Montgomery; Goldsman, 2000), corroborando para o entendimento de que houve um quadro convergente de concordância, estabilidade e consistência de posições.

O coeficiente α de Cronbach global foi de 0,58 (moderado). Esse valor não deve ser lido como inconsistência do painel, mas como reflexo direto da multidimensionalidade dos quatro eixos. Tavakol e Dennick (2011) advertem que o α de Cronbach não mede unidimensionalidade e que conjuntos de itens que abrangem construtos distintos tendem a reduzir o coeficiente agregado. Coerentemente, os α calculados por eixo, em razão do método Delphi aplicado por especialistas considerando a afinidade temática, são elevados: Estrutura Física 0,90; EpS 0,89; Gestão 0,95; Resiliência 0,81. A leitura conjunta (W forte, α por eixo elevado, Wilcoxon não significativo) constitui evidência convergente de confiabilidade do método (Hall et al., 2021).

A regra de preservação resolve um problema metodológico recorrente em painéis Delphi, a reavaliação desnecessária de itens já consensuados, que introduz ruído estatístico (Holey et al., 2007). O tratamento dos 17 divergentes como indicadores de perfil, em vez de seu descarte, alinha-se à lógica de que a não concordância também permite levantar informações (Lazarenko et al., 2024), visto que a discordância pode ser verificada nas respostas abertas e avaliadas com base na análise de conteúdo (Silva; Fossá, 2015). Os itens divergentes concentram-se em Estrutura Física e Gestão, permitindo verificar que dois padrões emergiram, sendo, temas técnicos em que os especialistas divergem sobre granularidade (ex.: capacidade do bicicletário, EF_016) e assuntos politicamente sensíveis cuja relevância é contextual (ex.: denúncias de corrupção, GES_011). Mantê-los como indicadores de perfil preserva a informação que carregam e sinaliza a necessidade de reformulação semântica futura dos enunciados de pertinência ambígua (entre 40% e 70%).

Priorização (AHP) e modelagem causal (DEMATEL)

A Tabela 2 e Figura 5 mostram os pesos identificados a partir da aplicação da AHP (Saaty, 2008) e o grau de sensibilidade de Monte Carlo (Eskandari; Rabelo, 2007). Os resultados evidenciam que a priorização é equilibrada e liderada pela Resiliência: RES 27,06%; EpS 24,54%; GES 24,34%; EF 24,06%. O AHP hierárquico expandido permitiu derivar pesos totais por indicador; os cinco de maior peso foram AbE e SbN (RES) 7,19%; Comunidade (EpS) 6,91%; Proteção Ambiental e Ecossistemas (RES) 4,04%; Segurança e

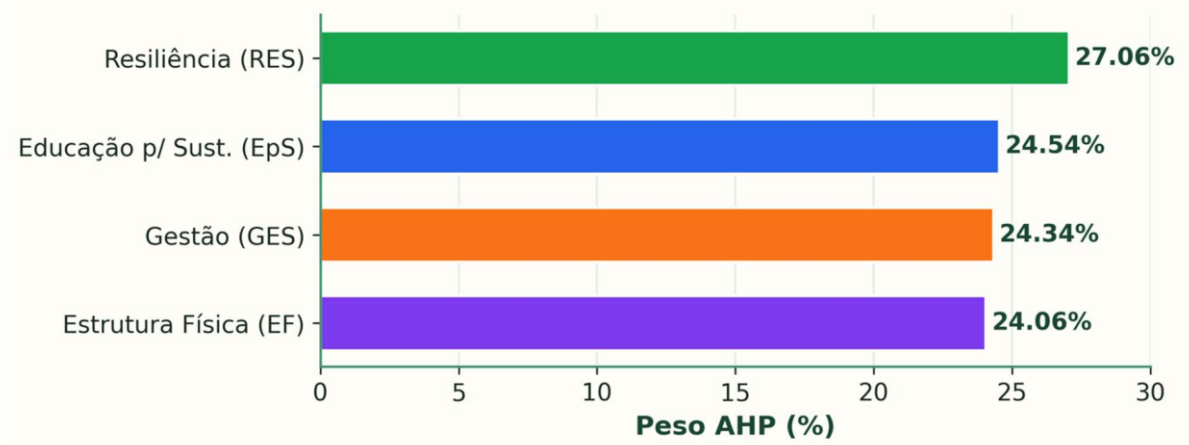
Controle (GES) 3,60%; e Competições escolares (EpS) 3,46%, análise completa disponível como Material Suplementar 6 (disponível em: https://drive.google.com/drive/folders/1gPTqNMnYbImcRyrUhvIHEN1T7h2-J5ay?usp=sharing).

Tabela 2 – Pesos AHP dos eixos e sensibilidade de Monte Carlo.

Eixo	Peso AHP	IC 95% (Monte Carlo)	P(1º lugar)
Resiliência (RES)	27,06%	20,8 – 34,2%	45,0%
Educação para Sustentabilidade (EpS)	24,54%	18,7 – 31,2%	19,8%
Gestão (GES)	24,34%	18,6 – 30,9%	18,8%
Estrutura Física (EF)	24,06%	18,3 – 30,7%	16,4%

Fonte: Autores (2026).

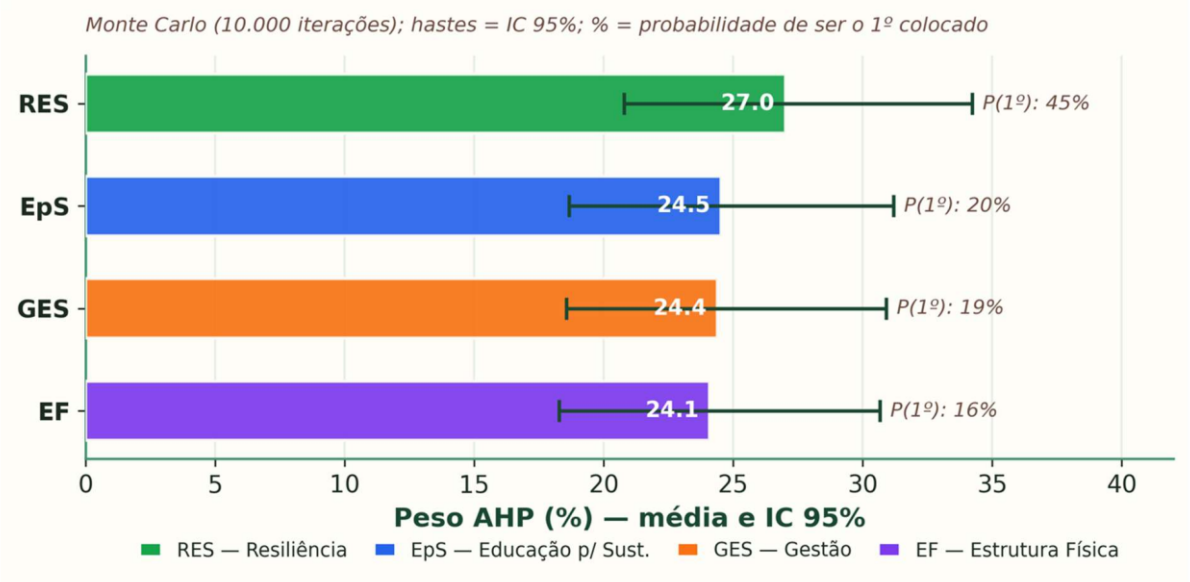
Figura 5 – Pesos AHP atribuídos aos eixos da CESR.



Fonte: Autores (2026).

A partir da análise de sensibilidade de Monte Carlo, verificou-se que a Resiliência manteve-se como eixo de maior peso em 45,0% das simulações (Figura 6), com alto grau de confiabilidade, ainda que não determinística, a proximidade estatística entre os eixos, e a razão de consistência permaneceu ≤ 0,10 em 99,2% das matrizes perturbadas.

Figura 6 – Distribuição dos pesos dos eixos sob simulação de Monte Carlo.



Fonte: Autores (2026).

A relevância da Resiliência inverte a hierarquia das ferramentas hegemônicas de avaliação do ambiente construído, LEED Schools, BREEAM Education e SBTool, que atribuem peso predominante à infraestrutura física e à eficiência energética (Saraiva; Almeida; Bragança, 2019). Ao colocar a resiliência no topo, a CESR materializa empiricamente a lacuna apontada por Roostaie, Nawari e Kibert (2019), a raridade com que a resiliência a riscos é incorporada aos arcabouços de avaliação da sustentabilidade. O equilíbrio entre os quatro pesos, por sua vez, indica que a sustentabilidade escolar se mantém na articulação das dimensões, e não em uma delas isoladamente (Ferreira; Olivato; Fiore, 2026), implicação prática direta, uma vez que nesta proposta, as escolas com infraestrutura limitada não estão impedidas de obter melhor desempenho se investirem nos demais eixos (Bopape, 2022).

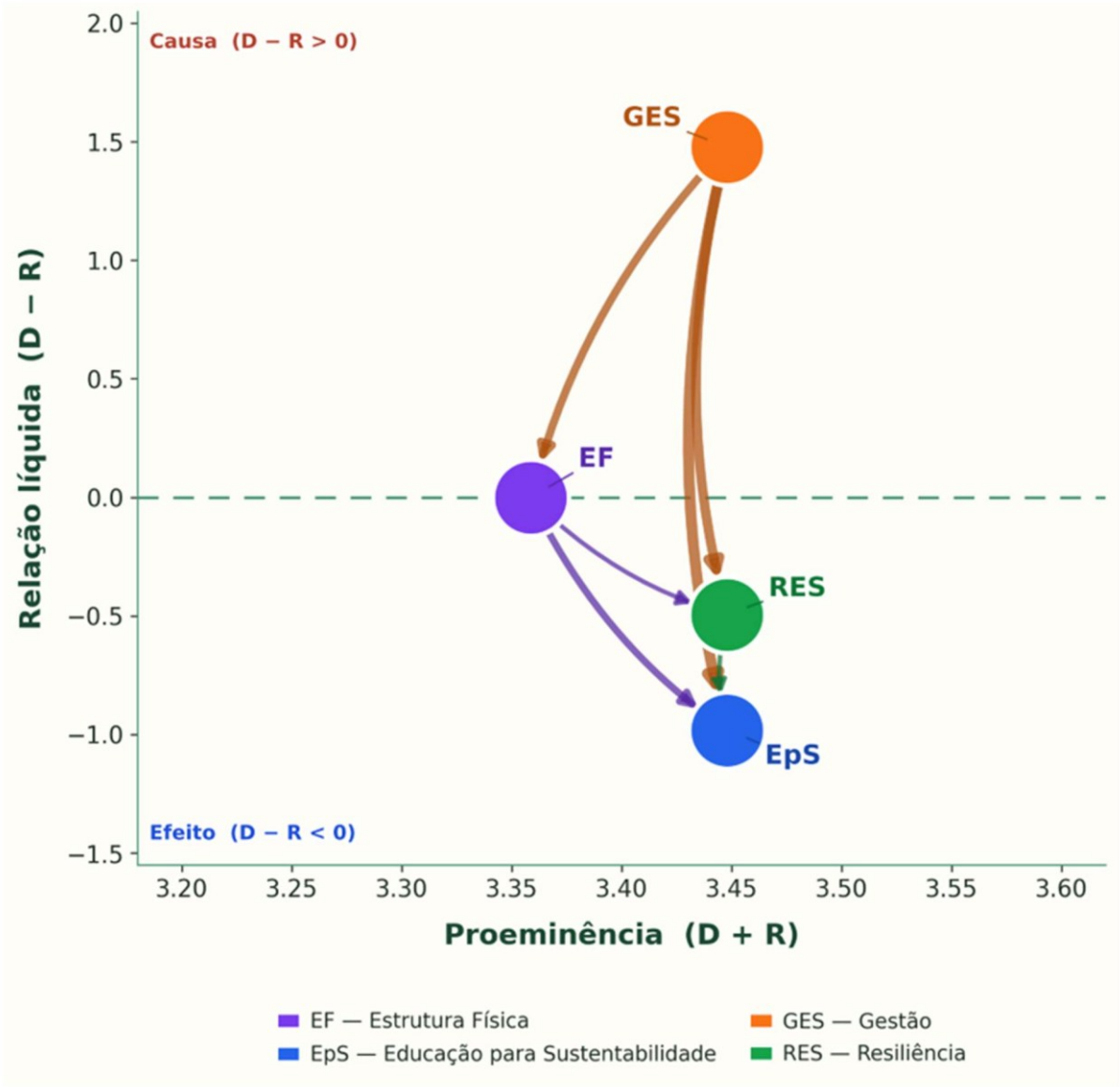
Por meio da aplicação do DEMATEL verificaram-se as relações causais entre os eixos e entre os fatores da ferramenta (Zhang et al., 2023). Da matriz de relação total derivaram-se a relação líquida (D−R), que permitiu a classificação de cada eixo como causa ou efeito, e a proeminência (D+R), que expressa a centralidade e permitiu verificar o grau de importância do eixo em comparação aos demais. A Tabela 3 sintetiza a relação líquida e a classificação ao nível dos eixos, e a Figura 7 projeta essas posições no plano causa-efeito. As ligações de T acima do limiar α (média + 1σ) compuseram o INRM (Figura 8), construído nos níveis de eixo e de fator - categoria do indicador (Si et al., 2018; Wu, 2021).

Tabela 3 – DEMATEL no nível dos eixos: relação líquida e classificação.

Eixo	Relação líquida (D − R)	Classificação
Gestão (GES)	+1,48	Causa (vetor gerador)
Estrutura Física (EF)	≈ 0	Neutro (meio/suporte)
Resiliência (RES)	−0,50	Efeito
Educação para Sustentabilidade (EpS)	−0,98	Efeito (principal)

Fonte: Autores (2026).

Figura 7 – Mapa causa-efeito DEMATEL no nível dos eixos.

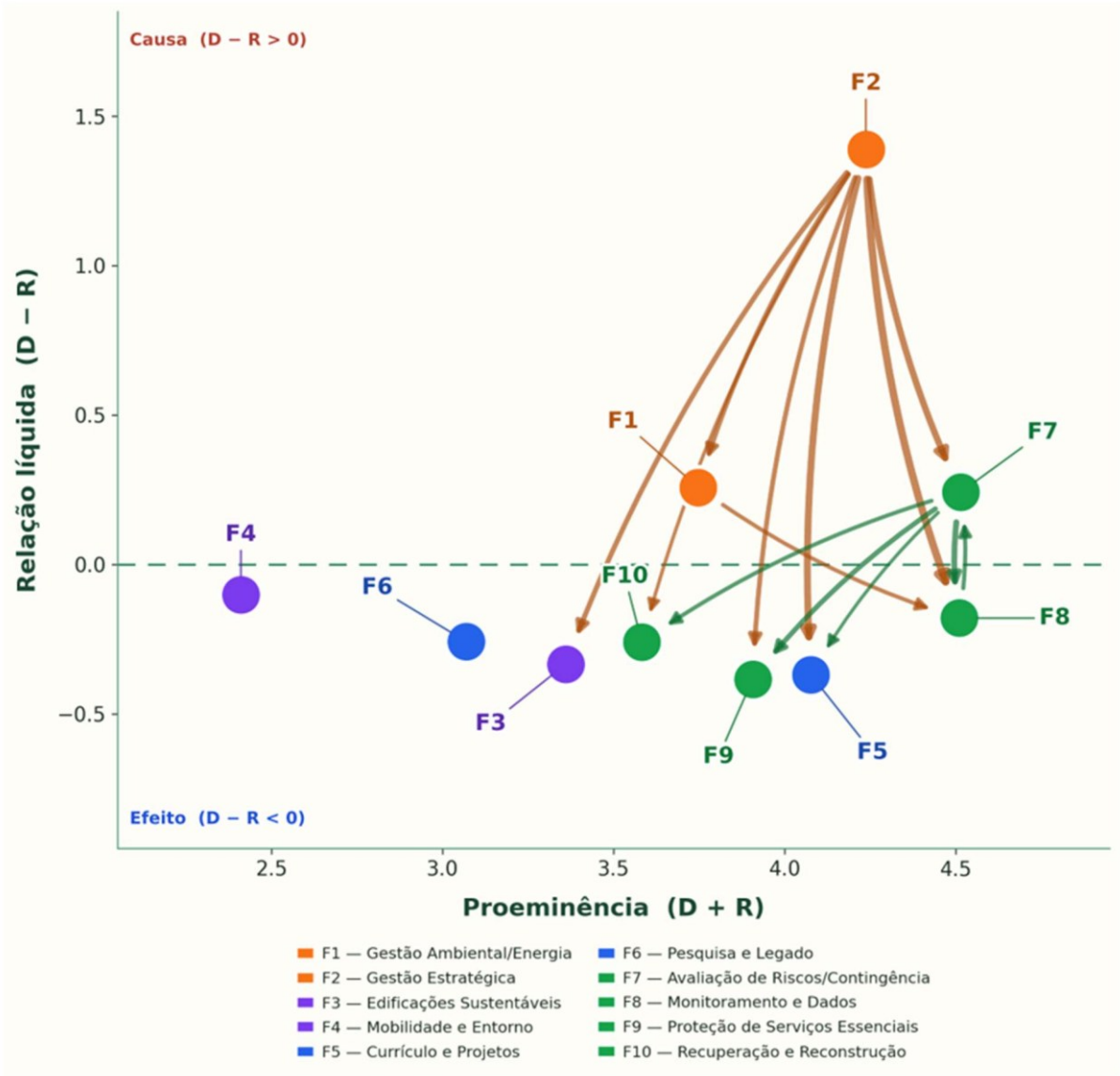


Fonte: Autores (2026).

No nível dos eixos (Figura 7), a Gestão é a única causa líquida (D − R = +1,48) e exerce a maior influência (D = 2,46), confirmando seu papel de vetor gerador do sistema, uma vez que aloca recursos, define prioridades e habilita a operação dos demais eixos (Chen et al., 2022; Fathi et al., 2023). A Educação para a Sustentabilidade apresenta a relação líquida mais

negativa (D − R = −0,98), posicionando-se como o principal efeito, a dimensão pedagógica é majoritariamente ativada pela ação prévia dos demais eixos (Saraiva et al., 2019; Hawa et al., 2021; Santos et al., 2022). A Resiliência também é efeito (D − R = −0,50) e a Estrutura Física é praticamente neutra, atuando como meio e suporte, o que contraria a lógica da maior parte das ferramentas consolidadas, voltadas à infraestrutura (Saraiva; Almeida; Bragança, 2019).

Figura 8 – Mapa causa-efeito DEMATEL no nível dos fatores/indicadores.



Fonte: Autores (2026).

No nível dos fatores (Figura 8), os fatores causais líquidos são a Gestão Estratégica (D − R = +1,39), a Gestão Ambiental/Energia (+0,26) e a Avaliação de Riscos/Contingência (+0,24). Em proeminência (D + R), os mais centrais são a Avaliação de Riscos/Contingência (4,51), o Monitoramento e Dados (4,51) e a Gestão Estratégica (4,24).

A leitura conjunta do AHP e do DEMATEL é complementar e não redundante, o AHP indica qual eixo concentra maior peso valorativo (Resiliência) e o DEMATEL indica qual eixo deve ser priorizado (Gestão) (Goyal et al., 2025). Esse resultado espelha a literatura de governança urbana, em que a capacidade institucional, planejamento, monitoramento e avaliação de riscos, precede e habilita os resultados de desempenho ambiental (Sultana et al., 2023; Sundin et al., 2024) e pedagógicos (Vidal-Mones; Diaz-Ruiz; Gil, 2022), em consonância com a estrutura da ISO 37123 (ABNT, 2021), que situa a governança e a gestão de riscos como pré-condições da resiliência (Trajber, 2019). Em termos práticos, escolas em contextos de maior risco, identificadas pela estratificação por IDHM, devem consolidar primeiro os fatores causais de gestão e contingência, antes de expandir para os indicadores pedagógicos que deles dependem (Roostaie; Nawari; Kibert, 2019; Ledesma; Nikolic; Pons-Valladares, 2020).

A matriz de influência direta foi preenchida de modo dedutivo, a partir das dependências estruturais já documentadas entre eixos e fatores na construção dos indicadores e no mapeamento às normas ISO 37120/37122/37123 (ABNT, 2017, 2020, 2021), e não por uma rodada de priorização adicional, a fim de limitar a sobrecarga dos respondentes após duas rodadas Delphi. A parametrização dedutiva é prática aceita no DEMATEL quando há um modelo estrutural defensável (Tzeng; Huang, 2011). Trata-se de uma escolha da pesquisa, descrita também entre as limitações descritas a seguir, o procedimento de cálculo é integralmente reprodutível (Material Suplementar 6, disponível em: https://drive.google.com/drive/folders/1gPTqNMnYbImcRyrUhvIHEN1T7h2-J5ay?usp=sharing), e apenas os valores de entrada da matriz requerem validação empírica posterior por elicitação direta junto ao painel.

Proposta de ferramenta de certificação

A ferramenta proposta adotou o modelo de inclusão de dados pela própria organização avaliada, baseado em adaptação do Certificado de Sustentabilidade Turística (CST) da Costa Rica (ICT, 2025). Foi desenvolvida em formato de *check-list* para permitir que as escolas autoavaliem anualmente seu desempenho com base nos indicadores e parâmetros estruturados. Assim, as instituições poderão ser certificadas em patamares progressivos, definidos por critérios de pontuação organizados por eixo, categoria, subcategoria, indicador e parâmetro (Ferreira; Olivato; Fiore, 2026).

Os indicadores foram classificados pela tipologia da ABNT NBR ISO 37120 (ABNT, 2017) em essenciais, de apoio e de perfil, cada qual com um multiplicador de peso (1,00; 0,50; 0,25), de modo que o peso final combinasse os critérios ponderados por prioridade e por tipo (Zafeiropoulos; Drinia, 2023). Os requisitos para alcance de cada um dos quatro patamares de certificação são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Patamares de certificação da ferramenta CESR.

Patamar	Denominação	Requisito
Bronze	Escola com Compromisso Sustentável	≥ 60% dos indicadores essenciais em cada eixo; plano de melhoria de 12 meses
Prata	Escola Sustentável	≥ 80% dos essenciais e 50% dos de apoio; evidências em ≥ 3 eixos
Ouro	Escola Sustentável Referência	≥ 95% dos essenciais, 70% dos de apoio e 40% dos de perfil
Platina	Excelência Sustentada	Ouro mantido por dois ou mais ciclos consecutivos

Fonte: Autores (2026).

A lógica de pré-requisitos e créditos, análoga ao LEED (USGBC, 2007) e ao BREEAM (BRE Global, 2008) e ao modelo do *World Council on City Data* para a ISO 37120 (WCCD, 2014; ISO, 2018), faz o patamar refletir o que foi atendido, privilegiando o núcleo essencial, e não apenas quanto. Essa engenharia é consolidada no LEED, cujos níveis (Certificado, Prata, Ouro e Platina) exigem o cumprimento prévio de pré-requisitos obrigatórios antes da pontuação por créditos, sendo núcleo de indicadores obrigatório e progressivos. O modelo é híbrido com autoavaliação institucional anual, inspirada no Eco-Schools e na AQUA-HQE (Fundação Vanzolini, [2011]), somada a auditoria externa bienal pela autoridade educacional, herdada da engenharia institucional do CST (ICT, 2025). A periodicidade dos indicadores foi alinhada ao calendário letivo para minimizar a carga administrativa, replicando a lógica de validade anual do Eco-Schools (Eco-Schools, 2021).

A viabilidade em escolas públicas de baixa capacidade administrativa foi tratada como prioridade de projeto, assim sendo, a tipologia essencial/apoio/perfil escalona as exigências, e a lógica de aplicabilidade evita não conformidades artificiais (Fathi et al., 2023). A ferramenta é compatível com a Política Nacional de Educação Ambiental (Lei nº 9.795/1999), com o ProNAMEA (Brasil, 2026), com a Agenda 2030 (ONU, 2015) e potencializa a conexão da unidade escolar aos ODS 4 (educação de qualidade), 11 (cidades sustentáveis) e 13 (ação climática) e ao painel de indicadores urbanos da ISO 37120. É proposta para ser empregada como instrumento de governança multinível, da escola ao município e à região metropolitana e rural.

A CESR surge em um momento oportuno no Brasil, a consolidação de uma infraestrutura nacional de monitoramento da Educação Ambiental, o Sistema MonitoraEA,

instituído no âmbito do ProNAMEA (Brasil, 2026), que cria demanda por instrumentos de avaliação validados, participativos e replicáveis, exatamente a configuração da ferramenta ora proposta. Esse movimento institucionaliza um campo cuja necessidade já havia sido sinalizada na literatura, a lacuna de instrumentos sistemáticos para a Educação Ambiental e para a articulação entre escola e gestão do risco, apontada por Vieira, Campos e Morais (2019) e Trajber (2019) e que encontra agora resposta normativa no ProNAMEA. A CESR posiciona-se, assim, como contribuição técnica que acompanha e operacionaliza esse avanço nacional e internacional.

Os princípios do Prêmio Nacional da Qualidade em Saneamento (PNQS) foram incorporados à estrutura operacional da ferramenta (ABES, 2023). A melhoria contínua é assegurada pela exigência de revisão periódica dos planos de emergência e dos mapas de vulnerabilidade, em consonância com o ciclo de gestão de riscos preconizado pelo PNQS. A orientação por resultados mensuráveis, por sua vez, traduz-se na comparação histórica entre ciclos anuais como condição para a progressão entre os patamares de certificação (Fathi et al., 2023), de modo que o avanço da unidade escolar seja demonstrado por evidências, e não apenas declarado (Sortwell et al., 2024). Essa incorporação aproxima a CESR de um referencial nacional consolidado de qualidade em gestão (ABES, 2023) e reforça sua robustez metodológica para operar como instrumento de governança multinível, da escola ao município e à região.

Comparação com ferramentas internacionais

A proposta dialoga com seis iniciativas de referência (Tabela 5). O LEED Schools (USGBC, 2007) e o BREEAM Education (BRE Global, 2008) concentram-se no edifício e na eficiência energética e hídrica, a CESR incorpora esses aspectos nos eixos EF e GES, mas acrescenta as dimensões pedagógica, de gestão e de resiliência, conforme fragilidade reportadas por Saraiva et al., 2019, Roostaie, Nawari e Kibert (2019) e Hawa et al. (2021). A AQUA-HQE (Fundação Vanzolini, [2011]) compartilha o uso de auditoria externa, mas avalia o edifício por fases do ciclo de vida e não contempla EpS nem resiliência climática. O Eco-Schools baseia-se em autoavaliação, que a presente ferramenta mantém e complementa com auditoria externa e validação estatística. Para essa ferramenta, o CST, da Costa Rica, foi a principal referência estrutural, de modelo de níveis e de validação externa por entidade terceira, adaptado ao contexto educacional. O SBTool/SAHSBPT, por fim, aborda

indicadores de edifício por país, sem integrar resiliência ou estratificação socioeconômica (Saraiva; Almeida; Bragança, 2019; Saraiva et al., 2019).

Tabela 5 – Comparação da CESR com ferramentas de referência.

Ferramenta	Foco principal	O que a CESR acrescenta
LEED Schools / BREEAM Education	Edifício; eficiência energética e hídrica; créditos e pré-requisitos	Dimensões pedagógica, de gestão e de resiliência; foco em operação
AQUA-HQE (Brasil)	Edifício escolar por fases do ciclo de vida; auditoria externa	EpS e resiliência climática; viabilidade em baixa capacidade
Eco-Schools (FEE)	Whole-school; autoavaliação e comportamento; selo anual	Auditoria externa e validação Delphi/AHP/DEMATEL
CST (Costa Rica)	Organizações turísticas; híbrido autoavaliação + auditoria	Especificidade escolar; ponderação multicritério
SBTool / SAHSBPT	Edifício escolar; indicadores adaptados por país	Integração da resiliência; estratificação por IDHM

Fonte: Autores (2026).

Cabe destacar que nenhuma das ferramentas citadas incorpora simultaneamente validação por painel Delphi multi-rodada, ponderação AHP de eixos, análise causal DEMATEL, estratificação por IDHM e adaptação ao contexto de escolas públicas brasileiras, com a resiliência integrada como eixo de maior peso. Esta combinação distingue a presente proposta como contribuição metodológica original ao campo da avaliação da sustentabilidade em contextos educacionais e, por extensão, à mensuração de serviços urbanos essenciais.

Frequência, tratabilidade e implementação real

A viabilidade operacional da ferramenta em contextos de baixa capacidade administrativa, característicos da maioria das escolas públicas da RMVPLN e dos países em desenvolvimento, foi tratada como prioridade de *design*. Os indicadores validados correspondem, em termos práticos, a dados passíveis de serem coletados majoritariamente por análise documental (sem equipamentos especiais), com custo predominantemente baixo a médio.

A distribuição das periodicidades reflete o calendário escolar, os indicadores mensais (consumo energético, hídrico) são os únicos que exigem registros sistemáticos ao longo do ano letivo. Os demais se concentram em levantamentos semestrais e anuais, compatíveis com os momentos de elaboração do Plano de Gestão Estratégica e dos Relatórios de Atividades exigidos pelas secretarias de educação. Essa escolha é deliberadamente distinta das ferramentas que exigem monitoramento contínuo com sensores e sistemas automatizados, abordagem inviável para a maioria das escolas públicas brasileiras (Saraiva et al., 2019). Além de permitir o diagnóstico interno por parte das escolas, a estrutura proposta poderá

subsidiar processos de reconhecimento externo, fomentando a institucionalização da sustentabilidade como valor organizacional (Kim; Go, 2020; Aberle et al., 2022). Essa ferramenta será uma contribuição para a promoção da sustentabilidade no contexto educacional e poderá ser replicada em outras regiões do Brasil e no exterior.

Limitações

Cinco limitações devem ser consideradas na interpretação dos resultados. Primeiro, os painéis por eixo foram reduzidos (três a quatro especialistas), o que limita o poder estatístico dos testes por eixo, ainda que o tamanho agregado (14 na R1, 13 na R2) esteja na faixa considerada adequada para painéis Delphi homogêneos (Hsu; Sandford, 2007). Segundo, não houve uma terceira rodada (R3) para os eixos, em especial para o eixo EpS, cuja diversidade temática recomendaria convergência adicional (Hawa et al, 2021). Terceiro, a matriz de influência do DEMATEL foi derivada da lógica estrutural da ferramenta, escolha de pesquisa que assegura coerência e reprodutibilidade, mas cujos valores de entrada ainda carecem de validação empírica por elicitação direta junto ao painel (Hsu, Lee; Kreng, 2010). Quarto, a amostra restringe-se à RMVPLN, a generalização a outras regiões, em especial Norte e Nordeste do país ou a outros territórios, exige validação com especialistas locais (Ledesma; Nikolic; Pons-Valladares, 2020). Quinto, a validação concentrou-se em escolas públicas em fase de operação, restando testar a ferramenta em escolas privadas e em fase de projeto e implantação.

Propostas de trabalhos futuros

Com base nas limitações, propõem-se cinco frentes complementares. Uma rodada R3 dirigida aos 17 indicadores divergentes, com reformulação semântica dos enunciados de pertinência ambígua e ampliação do painel de EpS para $n \geq 5$ especialistas. A validação piloto da ferramenta em escolas da RMVPLN, ao longo de um ciclo letivo completo, para avaliar usabilidade, tempo de preenchimento e completude dos dados (Aberle et al., 2022). A coleta empírica da matriz DEMATEL, substituindo a parametrização dedutiva por elicitação direta e comparando os mapas causais resultantes. A expansão geográfica do processo Delphi a outras regiões, com análise fatorial confirmatória multigrupo para testar a invariância da estrutura de quatro eixos em contextos socioeconômicos distintos. A aplicação em escala metropolitana,

integrando os resultados escolares aos painéis municipais de indicadores urbanos (ISO 37120) e fechando o ciclo de governança escola–cidade, em apoio às metas dos ODS 11.b e 13.3.

Atratividade e alinhamento institucional

A atratividade da ferramenta para as unidades escolares é destacada por meio de quatro pilares:

- Redução de custos operacionais: indicadores com IV ≥ 0,65 priorizam fontes internas (documentos escolares, observação direta, plataformas já existentes), eliminando a necessidade de equipamentos especializados em 71% dos casos;
- Melhoria da imagem institucional: o selo de certificação vinculado aos ODS 4 (Educação de Qualidade), 6 (Água Potável), 11 (Cidades Sustentáveis), 13 (Ação Climática) e 15 (Vida Terrestre) amplia o reconhecimento da escola junto à comunidade e à gestão local ao diagnosticar áreas de priorização de investimento;
- Alinhamento às políticas públicas: a ferramenta é compatível com a Política Nacional de Educação Ambiental (Lei 9.795/1999), o Programa Escolas Sustentáveis (MEC/FNDE); as diretrizes da Agenda 2030 (ONU, 2015); e ao ProNAMEA (Brasil, 2026);
- Possibilidade de selo e progressão: o modelo por níveis (Bronze → Prata → Ouro → Platina) cria um percurso de melhoria contínua, evitando o estigma de reprovar e incentivando a participação mesmo de escolas com baixo desempenho inicial.

Incorporação dos princípios do PNQS

O PNQS, referência brasileira em governança, transparência e melhoria contínua para organizações do setor de saneamento (ABES, 2023), contribuiu com três princípios estruturantes para a ferramenta:

- Governança e transparência (eixo Gestão): os indicadores GES_017 (Governança Tributária), GES_025 (Atualização do Plano Estratégico) e GES_028 (Acompanhamento de Políticas Públicas) espelham diretamente as dimensões de transparência institucional do PNQS. A auditoria externa bienal incorpora o componente de prestação de contas a *stakeholders*;

- Melhoria contínua (eixo Resiliência): os indicadores RES_002 (Revisões do plano de emergência), RES_008 (Mapa de vulnerabilidade) e RES_023 (Relatórios de fortalecimento ecossistêmico) refletem o ciclo de revisão periódica exigido pelo PNQS para sistemas de gestão de riscos. O eixo Resiliência, com peso AHP de 27,06%, é o mais relevante da ferramenta (Tabela 2); no nível dos eixos, opera como efeito (D − R = −0,50; Tabela 3), mas, no nível dos fatores, a categoria Avaliação de Riscos/Contingência é causa líquida (D − R = +0,24) e, empatada com Monitoramento e Dados, a mais proeminente do sistema (D + R = 4,51) no mapa INRM do DEMATEL (Figura 8), indicando que investimentos em avaliação de riscos e contingência produzem efeitos sistêmicos sobre os demais fatores;
- Orientação por resultados mensuráveis: o PNQS exige que as organizações demonstrem evolução de indicadores ao longo do tempo. A ferramenta incorpora esse princípio ao exigir a comparação histórica (delta entre ciclos anuais) para concessão dos níveis Prata e Ouro.

A Tabela 6 sintetiza as relações entre os princípios PNQS e os eixos da ferramenta.

Tabela 6 – Princípios do PNQS e suas correspondências na Ferramenta de Avaliação da Sustentabilidade Escolar.

Princípio PNQS	Eixo(s) Correspondente(s)	Indicadores Representativos
Governança e transparência	Gestão (24,34%)	GES_017, GES_025, GES_028, GES_030
Melhoria contínua	Resiliência (27,06%) + Gestão	RES_002, RES_008, RES_023, GES_026
Orientação ao usuário/comunidade	EpS (24,54%)	EPS_005, EPS_008, EPS_013, EPS_014
Eficiência e uso racional de recursos	Estrutura Física (24,06%) + Gestão	GES_006, GES_003, EF_002, EF_004

Fonte: Autores (2026).

CONCLUSÃO

Este artigo apresentou a construção, a validação e a priorização da ferramenta de Certificação Escolar de Sustentabilidade e Resiliência (CESR), voltada a unidades públicas de educação básica. Partindo de 98 indicadores distribuídos em quatro eixos, (Estrutura Física, Educação para a Sustentabilidade, Gestão e Resiliência) o Delphi de duas rodadas consolidou 81 indicadores (82,65%) e preservou os 17 divergentes como indicadores de perfil. Assim é possível concluir que foi suprida a lacuna de instrumentos que integrem múltiplas dimensões da sustentabilidade, submetam os indicadores a validação rigorosa e operacionalizem a priorização por técnicas de Apoio Multicritério à Decisão.

A qualidade metodológica do processo apoia-se em evidência convergente. A concordância intra-painel foi forte (W de Kendall = 0,89) e a ordenação dos indicadores manteve-se estável entre as rodadas (Wilcoxon p = 0,098; Spearman ρ = 0,57). O α de Cronbach global de 0,58 reflete a multidimensionalidade dos quatro eixos, e não fragilidade do painel (Tavakol; Dennick, 2011), os coeficientes por eixo, calculados em razão da afinidade temática do desenho, situam-se entre 0,81 e 0,95. O critério multidimensional de consenso e a regra de preservação dos itens já validados reduziram a dependência exclusiva do W de Kendall e o ruído de reavaliação, limitações recorrentes em painéis Delphi (Schmidt, 1997).

A ponderação e a modelagem causal ofereceram leituras complementares. O AHP atribuiu pesos equilibrados, liderados pela Resiliência (27,06%), resultado robusto sob simulação de Monte Carlo, em que esse eixo ocupou a primeira posição em 45,0% das iterações. O DEMATEL, por sua vez, identificou a Gestão como única causa líquida do sistema (D − R = +1,48) e a Educação para a Sustentabilidade como principal efeito. Dessa forma, enquanto o AHP indica qual eixo concentra maior peso valorativo, o DEMATEL aponta qual eixo deve ser priorizado na implementação. A priorização atribuída à resiliência inverte a hierarquia das ferramentas centradas na edificação e materializa a integração entre sustentabilidade e resiliência recomendada.

As contribuições originais do estudo residem no critério multidimensional de consenso, que articula pertinência, dispersão e estabilidade entre rodadas. Na preservação dos itens validados, que trata o dissenso como informação. Bem como na integração formal entre Delphi, AHP e DEMATEL, aplicada ao contexto da educação básica pública brasileira, com a resiliência incorporada como eixo de maior peso e a estratificação por IDHM como variável de contexto. Nenhuma das ferramentas internacionais de referência reúne, simultaneamente, esses elementos.

No plano prático, a estrutura da certificação em quatro patamares (Bronze, Prata, Ouro e Platina) e a lógica de aplicabilidade, tornam a ferramenta viável mesmo em escolas de baixa capacidade administrativa, evitando não conformidades artificiais. A leitura causal recomenda uma implementação sequencial, onde consolidar primeiro os fatores de gestão e de contingência, dos quais dependem os resultados pedagógicos e de resiliência. Além disso, a CESR alinha-se à Política Nacional de Educação Ambiental, ao ProNAMEA e à Agenda 2030, conectando a unidade escolar aos ODS 4, 11 e 13 e ao painel de indicadores urbanos da

ISO 37120, o que a habilita como instrumento de governança multinível, da escola ao município e à região metropolitana.

Algumas limitações delimitam o alcance dos achados: os painéis por eixo foram reduzidos, não houve terceira rodada para a EpS, a matriz do DEMATEL foi parametrizada de modo dedutivo e a amostra restringiu-se à RMVPLN. A partir delas, abrem-se frentes de continuidade, com destaque para uma terceira rodada dirigida aos 17 indicadores divergentes, a coleta empírica da matriz DEMATEL por elicitação direta, a validação piloto ao longo de um ciclo letivo e a expansão geográfica do processo a outras regiões do país. Esses desenvolvimentos consolidarão a CESR como instrumento transparente, replicável e operacionalmente viável de avaliação da sustentabilidade e da resiliência em escolas públicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABERLE, L. M. et al. Application of a sustainability framework to enhance Australian food literacy programs in remote Western Australian communities. **Health Promotion Journal of Australia**, Hoboken, v. 33, n. S1, p. 174-206, 2022. DOI: https://doi.org/10.1002/hpja.586.

ABES — ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **PNQS 2023**: regulamento. Versão 1.4. [S. l.]: ABES, 2023. Disponível em: https://pnqs.com.br/wp-content/uploads/2023/07/Regulamento-PNQS-2023-v1.4.pdf. Acesso em: 4 out. 2026.

ABNT — ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 37120: desenvolvimento sustentável de comunidades** — indicadores para serviços urbanos e qualidade de vida. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ABNT — ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 37122: cidades e comunidades sustentáveis** — indicadores para cidades inteligentes. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ABNT — ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 37123: cidades e comunidades sustentáveis** — indicadores para cidades resilientes. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ACHARYA, A. S. et al. Sampling: why and how of it. **Indian Journal of Medical Specialities**, v. 4, n. 2, p. 330-333, 2013.

ANAZAWA, T. M.; MONTEIRO, A. M. V. Representações como potência: da trama verde e azul às outras tramas na Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte, São Paulo. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 25, n. 1, 2023. DOI: https://doi.org/10.22296/2317-1529.rbeur.202308.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 2011.

BOPAPE, J. SWOT analysis of selected schools involved in greening and sustainable development programmes. **Southern African Journal of Environmental Education**, v. 38, 2022.

BRASIL. Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 28 abr. 1999.

BRASIL. Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015. Institui o Estatuto da Metrópole, altera a Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 13 jan. 2015.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. Agenda Ambiental na Administração Pública (A3P). Brasília, DF: MMA, 2020. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/composicao/secex/dea/programas-e-projetos/a3p. Acesso em: 5 jul. 2026.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. Portaria MMA/GM nº 1.715, de 19 de junho de 2026. Institui o Programa Nacional de Avaliação e Monitoramento da Educação Ambiental (ProNAMEA). **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, jun. 2026. Disponível em: https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-mma/gm-n-1.715-de-19-de-junho-de-2026-714134219. Acesso em: 5 out. 2026.

BRE GLOBAL. BREEAM Education 2008: scheme document SD 5051. Watford: BRE Global, 2008.

CHEN, C. et al. Sustainability literacy: assessment of knowingness, attitude and behavior regarding sustainable development among students in China. **Sustainability**, v. 14, n. 9, p. 4886, 2022.

CRONBACH, L. J. Coefficient alpha and the internal structure of tests. **Psychometrika**, v. 16, n. 3, p. 297-334, 1951.

DALKEY, N.; HELMER, O. An experimental application of the Delphi method to the use of experts. **Management Science**, v. 9, n. 3, p. 458-467, 1963.

DIAMOND, I. R. et al. Defining consensus: a systematic review recommends methodologic criteria for reporting of Delphi studies. **Journal of Clinical Epidemiology**, v. 67, n. 4, p. 401-409, 2014.

DOS SANTOS, R. F. Planejamento ambiental: teoria e prática. São Paulo: **Oficina de Textos**, 2004.

ECO-SCHOOLS. **About Eco-Schools**. c2021. Disponível em: https://www.ecoschools.global/how-does-it-work. Acesso em: 5 jul. 2026.

ESKANDARI, H.; RABELO, L. Handling uncertainty in the analytic hierarchy process: a stochastic approach. **International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice**, v. 14, n. 1, p. 64-73, 2007.

FATHI, L. I. et al. Applying the Integrated Sustainability Framework to explore the long-term sustainability of nutrition education programmes in schools. **Public Health Nutrition**, v. 26, n. 10, p. 2165-2179, 2023.

FERREIRA, A. B.; OLIVATO, D.; FIORE, F. A. Structuring resilience indicators applicable for educational institutions: a conceptual framework for climate adaptation and management. **Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação**, Araraquara, v. 21, e19449, 2026. DOI: https://doi.org/10.21723/riaee.v21i00.1944902.

FLOSTRAND, A.; PITT, L.; BRIDSON, S. The Delphi technique in forecasting — a 42-year bibliographic analysis (1975-2017). **Technological Forecasting and Social Change**, v. 150, p. 119773, 2020.

FUNDAÇÃO VANZOLINI. **O processo AQUA-HQE.** [2011]. Disponível em: https://vanzolini.org.br/organizacoes/certificacoes/aqua-hqe/. Acesso em: 5 jul. 2026.

GENTILINI, J. A. Atores, cenários e planos: o planejamento estratégico situacional e a educação. **Cadernos de Pesquisa**, v. 44, p. 580-601, 2014.

GOYAL, R.; SINGH, P.; PATEL, K. Integrated Pythagorean fuzzy Delphi-AHP-CoCoSo approach for sustainable supply chain practices in the food industry. **Sustainable Operations and Computers**, v. 6, p. 12-28, 2025.

GROVES, R. M. et al. **Survey methodology**. 2. ed. Hoboken: Wiley, 2009.

HAHN, E. D. Decision making with uncertain judgments: a stochastic formulation of the analytic hierarchy process. **Decision Sciences**, v. 34, n. 3, p. 443-466, 2003. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1540-5414.2003.02274.x.

HALL, A. et al. Adaptation and validation of the Program Sustainability Assessment Tool (PSAT) for use in the elementary school setting. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 21, p. 11414, 2021.

HASSON, F.; KEENEY, S.; McKENNA, H. Research guidelines for the Delphi survey technique. **Journal of Advanced Nursing**, v. 32, n. 4, p. 1008-1015, 2000.

HAWA, N. N. et al. Geography education for promoting sustainability in Indonesia. **Sustainability**, Basel, v. 13, n. 8, p. 4340, 2021. DOI: https://doi.org/10.3390/su13084340.

HINES, W. W. et al. **Probability and statistics in engineering**. [S. l.]: LTC, 2000.

HOLEY, E. A. et al., An exploration of the use of simple statistics to measure consensus and stability in Delphi studies. **BMC Medical Research Methodology**, v. 7, p. 52, 2007.

HSU, C. C.; SANDFORD, B. A. The Delphi technique: making sense of consensus. Practical Assessment, **Research & Evaluation**, v. 12, n. 10, p. 1-8, 2007.

HSU, Y. L.; LEE, C.H.; KRENG, V. B. The application of Fuzzy Delphi Method and Fuzzy AHP in lubricant regenerative technology selection. **Expert Systems with Applications**, v. 37, n. 1, p. 419-425, 2010.

IBGE — INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Coordenação de Geografia. **Regiões de influência das cidades**: 2018. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101728.pdf. Acesso em: 4 out. 2026.

IBGE — INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 87% da população brasileira vivia em áreas urbanas. **IBGE Educa Jovens**, Rio de Janeiro, 28 jan. 2025. Disponível em: https://educa.ibge.gov.br/jovens/materias-especiais/22550-87-da-populacao-brasileira-vivia-em-areas-urbanas.html. Acesso em: 5 out. 2026.

ICT — INSTITUTO COSTARRICENSE DE TURISMO. **CST Tourism Sustainability**. San José: ICT, c2025. Disponível em: https://www.ict.go.cr/en/sustainability/cst.html. Acesso em: 5 out. 2026.

INEP — INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA. **Inep Data**: Catálogo de Escolas 2020. Brasília, DF: Inep, 2020. Disponível em: https://anonymousdata.inep.gov.br/analytics/saw.dll?Portal. Acesso em: 5 out. 2026.

ISO — INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 37120: sustainable cities and communities** — indicators for city services and quality of life. 2. ed. Geneva: ISO, 2018.

JIMÉNEZ-ESPADA, M.; CUARTERO, A.; LE BRETON, M. Sustainability assessment through urban accessibility indicators and GIS in a middle-sized World Heritage City: the case of Cáceres, Spain. **Buildings**, Basel, v. 12, n. 6, p. 813, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/buildings12060813.

KIM, D.; GO, S. Human capital and environmental sustainability. **Sustainability**, v. 12, n. 11, p. 4736, 2020.

LEDESMA, G.; NIKOLIC, J.; PONS-VALLADARES, O. Bottom-up model for the sustainability assessment of rooftop-farming technologies potential in schools in Quito, Ecuador. **Journal of Cleaner Production**, v. 274, p. 122993, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122993.

LEI, B. et al. Carbon emission reduction evaluation of end-of-life buildings based on multiple recycling strategies. **Sustainability**, v. 15, n. 22, p. 15711, 2023.

LIKERT, R. A technique for the measurement of attitudes. **Archives of Psychology**, v. 22, n. 140, p. 5-55, 1932.

MACHADO, D. Q.; MATOS, F. R. N.; MESQUITA, R. F. Relations between innovation management and organisational sustainability: a case study in a Brazilian higher education institution. **Environment, Development and Sustainability**, v. 24, n. 9, p. 11127-11152, 2022. DOI: https://doi.org/10.1007/s10668-021-01900-4.

MARCHEZINI, V.; MUÑOZ, V. A.; TRAJBER, R. School vulnerability to disasters in Brazil. **Territorium**, Coimbra, n. 25(II), p. 161-178, 2018. DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_25-2_13.

MARSHALL, B. et al. Does sample size matter in qualitative research?: a review of qualitative interviews in IS research. **Journal of Computer Information Systems**, v. 54, n. 1, p. 11-22, 2013. DOI: https://doi.org/10.1080/08874417.2013.11645667.

MASSECK, T. et al. Integrated sustainability assessment of construction waste-based shading devices for the refurbishment of obsolete educational public building stock. **Journal of Building Engineering**, v. 87, p. 109024, 2024.

MORA, D. T.; VILCHES, M. F. P.; OSPINA, Y. L. Sustainability assessment in Colombian educational institutions: case studies. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 25, e00801, 2022.

MOREIRA, S. V. Análise documental como método e técnica. In: DUARTE, J.; BARROS, A. (ed.). **Métodos e técnicas de pesquisa em comunicação**. São Paulo: Atlas, 2005. p. 269-279.

MOREIRA, T. **Vamos cuidar do Brasil com escolas sustentáveis**: educando-nos para pensar e agir em tempos de mudanças socioambientais globais. Brasília: MEC/Secadi, 2012.

MYLONAS, G. et al. Results from a large-scale IoT-based intervention for energy saving and sustainability awareness via behavior change in 25 K-12 schools in Europe. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 12, n. 12, p. 19308-19325, 2025. DOI: https://doi.org/10.1109/JIOT.2025.3544652.

ONU — ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Transformando nosso mundo**: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Nova York: ONU, 2015. Disponível em: https://brasil.un.org/sites/default/files/2020-09/agenda2030-pt-br.pdf. Acesso em: 4 out. 2026.

PNUD — PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO; IPEA — INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA; FJP — FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil 2013**. Brasília, DF: PNUD, 2013. Disponível em: http://www.atlasbrasil.org.br. Acesso em: 5 out. 2026.

PRABAWA-SEAR, K.; DOW, V. Education for sustainability in Western Australian secondary schools: are we doing it? **Australian Journal of Environmental Education**, Cambridge, v. 34, n. 3, p. 244-261, 2018. DOI: https://doi.org/10.1017/aee.2018.47.

PRAVEENA, S. M.; THEMUDU, S. Water conservation initiative in a public school from tropical country: performance and sustainability assessments. **Water Conservation & Management**, v. 6, n. 1, p. 55-60, 2022. DOI: https://doi.org/10.26480/wcm.01.2022.55.60.

PROCHÁZKOVÁ, P. T. et al. Development of performance evaluation indicators for social enterprises: the use of Delphi technique. **Journal of Business Economics and Management**, v. 22, n. 6, p. 1396-1415, 2021.

ROOSTAIE, S.; NAWARI, N.; KIBERT, C. J. Sustainability and resilience: a review of definitions, relationships, and their integration into a combined building assessment framework. **Building and Environment**, v. 154, p. 132-144, 2019.

RUSSO, F. et al. Green and safety school regional program to sustainable development using limited traffic zone. **Int. J. Sustain. Dev. Plan**, v. 16, p. 71-79, 2021.

SAATY, T. L. **The analytic hierarchy process**. New York: McGraw-Hill, 1980.

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. **International Journal of Services Sciences**, v. 1, n. 1, p. 83-98, 2008.

SANTOS, E. B. et al. Sustainability recommendations and practices in school feeding: a systematic review. **Foods**, Basel, v. 11, n. 2, p. 176, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/foods11020176.

SÃO PAULO (Estado). Lei Complementar nº 1.166, de 9 de janeiro de 2012. Cria a região metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte, e dá providências correlatas. Disponível em: https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei.complementar/2012/lei.complementar-1166-09.01.2012.html. Acesso em: 4 out. 2026.

SARAIVA, T. S.; ALMEIDA, M.; BRAGANÇA, L. Adaptation of the SBTool for sustainability assessment of high school buildings in Portugal — SAHSBPT. **Applied Sciences**, v. 9, n. 13, p. 2664, 2019a.

SARAIVA, T. S. et al. The inclusion of a sustainability awareness indicator in assessment tools for high school buildings. **Sustainability**, v. 11, n. 2, p. 387, 2019b.

SCHMIDT, R. C. Managing Delphi surveys using nonparametric statistical techniques. **Decision Sciences**, v. 28, n. 3, p. 763-774, 1997.

SELBY, D.; KAGAWA, F. **Disaster risk reduction in school curricula: case studies from thirty countries**. Paris: UNESCO, 2012.

SI, S. L. et al. DEMATEL technique: a systematic review of the state-of-the-art literature on methodologies and applications. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2018, 3696457, 2018.

SILVA, A. H.; FOSSÁ, M. I. T. Análise de conteúdo: exemplo de aplicação da técnica para análise de dados qualitativos. **Qualitas Revista Eletrônica**, v. 16, n. 1, 2015.

SIQUEIRA, N. C. M.; FERREIRA, A. B.; FIORE, F. A. Reconhecimento e validação de indicadores de sustentabilidade aplicáveis ao ensino superior: estudo de caso aplicado à Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (Unesp). **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, v. 18, n. 5, p. 368-381, 2023. DOI: https://doi.org/10.34024/revbea.2023.v18.14845.

SORTWELL, A. et al. A systematic review of meta-analyses on the impact of formative assessment on K-12 students' learning. **Sustainability**, v. 16, n. 17, p. 7826, 2024.

SOUZA, B. S. et al. Definição de indicadores de sustentabilidade aplicáveis a unidades educacionais. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 27, e00214, 2024.

SULTANA, F. et al. Sustaining an elementary school-based hygiene intervention in Bangladesh by forming 'hygiene committees': a pilot study. **Journal of Water, Sanitation, and Hygiene for Development**, London, v. 13, n. 10, p. 749-763, 2023. DOI: https://doi.org/10.2166/washdev.2023.191.

SUNDIN, N. et al. Sustainability assessment of educational approaches as food waste prevention measures in school catering. **Journal of Cleaner Production**, v. 481, p. 144196, 2024.

TAVAKOL, M.; DENNICK, R. Making sense of Cronbach's alpha. **International Journal of Medical Education**, v. 2, p. 53-55, 2011.

TRAJBER, R. Pensar fora da caixa: transição sustentável e resiliente. In: RAYMUNDO, M. H. A.; BIASOLI, S. A.; BRANCO, E. A.; SORRENTINO, M. (org.). **Avaliação e monitoramento de políticas públicas de educação ambiental no Brasil: transição para sociedades sustentáveis**. 1. ed. Piracicaba: MH-Ambiente Natural, 2019. p. 55-68.

TZENG, G.-H.; HUANG, J.-J. **Multiple attribute decision making: methods and applications**. Boca Raton: CRC Press, 2011.

USGBC — UNITED STATES GREEN BUILDING COUNCIL. **LEED for Schools for New Construction and Major Renovations**. Washington, DC: USGBC, 2007.

VIDAL-MONES, B.; DIAZ-RUIZ, R.; GIL, J. M. From evaluation to action: testing nudging strategies to prevent food waste in school canteens. **Waste Management**, v. 140, p. 90-99, 2022.

VIEIRA, L. O. et al. Características dos eventos extremos de temperatura e precipitação na Região do Vale do Paraíba Paulista e Litoral Norte de São Paulo. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 33, n. 19, p. 378-408, 2023. DOI: https://doi.org/10.55761/abclima.v33i19.16569.

VIEIRA, M. T.; CLARO, R. M.; ASSUNÇÃO, A. A. Desenho da amostra e participação no Estudo Educatel. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 35, supl. 1, e00167217, 2019. DOI: https://doi.org/10.1590/0102-311X00167217.

VIEIRA, S. R.; CAMPOS, M. A. T.; MORAIS, J. L. Indicadores de avaliação da educação ambiental em escolas. In: RAYMUNDO, M. H. A.; BIASOLI, S. A.; BRANCO, E. A.; SORRENTINO, M. (org.). **Avaliação e monitoramento de políticas públicas de educação ambiental no Brasil: transição para sociedades sustentáveis**. 1. ed. Piracicaba: MH-Ambiente Natural, 2019. p. 69-85.

VON DER GRACHT, H. A. Consensus measurement in Delphi studies: review and implications for future quality assurance. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 79, n. 8, p. 1525-1536, 2012.

WCCD — WORLD COUNCIL ON CITY DATA. **ISO 37120 certification and the Global Cities Registry**. Toronto: WCCD, 2014. Disponível em: https://www.dataforcities.org/iso-37120. Acesso em: 5 jul. 2026.

WU, C.-H. An empirical study on discussion and evaluation of green university. **Ecological Chemistry and Engineering S**, v. 28, n. 1, p. 75-85, 2021. DOI: https://doi.org/10.2478/eces-2021-0007.

YIN, R. K. **Pesquisa qualitativa do início ao fim**. Porto Alegre: Penso, 2016.

ZAFEIROPOULOS, G.; DRINIA, H. Effectiveness of the Geoeducational Assessment Method (GEOAM) in unveiling geoeducational potential: a case study of Samos Island. **Geosciences**, v. 13, n. 11, p. 336, 2023.

ZHANG, H.; CHENG, X.; CUI, L. Progress or stagnation: academic assessments for sustainable education in rural China. **Sustainability**, v. 13, n. 6, p. 3248, 2021.

ZHANG, Z. et al. A large group hesitant 2-tuple linguistic DEMATEL method to evaluate performance indicators. **Information Sciences**, v. 647, p. 119408, 2023.

4 CONCLUSÃO, CONTRIBUIÇÕES E PERSPECTIVAS

Esta dissertação percorreu o caminho que vai da prática extensionista à proposição de um instrumento validado de avaliação. A trajetória iniciada no Projeto Escola Sustentável demonstrou que as unidades escolares reúnem condições privilegiadas para a promoção da sustentabilidade, mas carecem de instrumentos que integrem suas múltiplas dimensões e que incorporem a resiliência a eventos climáticos extremos. Os dois artigos que compõem este trabalho responderam a essa lacuna de forma complementar, onde o Artigo 1 estruturou o arcabouço conceitual de indicadores de resiliência para unidades educacionais, organizado nas categorias de avaliação, capacitação, monitoramento e preservação/conservação. Enquanto o Artigo 2 integrou esse eixo aos indicadores de sustentabilidade previamente definidos pelo grupo de pesquisa e submeteu o conjunto a um processo formal de validação e priorização, resultando na ferramenta CESR.

As contribuições da ferramenta podem ser sintetizadas em três planos. No plano metodológico, o Delphi de duas rodadas com critério multidimensional de consenso consolidou 81 dos 98 indicadores (82,65%), com forte concordância intra-painel (W de Kendall = 0,89) e estabilidade entre rodadas, enquanto os 17 indicadores divergentes foram preservados como indicadores de perfil, tratando o dissenso como informação e não como descarte. A integração formal entre Delphi, AHP e DEMATEL, pouco explorada no contexto da educação básica pública brasileira, ofereceu leituras complementares: o AHP atribuiu pesos equilibrados liderados pela Resiliência (27,06%), com robustez confirmada por simulação de Monte Carlo, e o DEMATEL identificou a Gestão como única causa líquida do sistema, orientando uma implementação sequencial que consolida primeiro os fatores gerenciais e de contingência. No plano prático, a certificação em quatro patamares (Bronze, Prata, Ouro e Platina), com núcleo essencial obrigatório e lógica de aplicabilidade, torna a ferramenta viável para escolas de diferentes capacidades administrativas. No plano institucional, a CESR conecta a unidade escolar à agenda urbana, ao dialogar com o painel de indicadores da ISO 37120 e com as normas NBR ISO 37122 e 37123 (ABNT, 2020; 2021).

A pesquisa alinha-se de forma direta aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Ao fortalecer a educação de qualidade e a formação cidadã, contribui para o ODS 4; ao tratar a escola como célula mensurável da infraestrutura urbana de serviços, contribui para o ODS 11; e ao incorporar a resiliência como eixo de maior peso valorativo, contribui para o ODS 13. A ferramenta também se articula à Política Nacional de Educação Ambiental

e ao recém-instituído ProNAMEA, que demanda a construção participativa de indicadores e o uso da avaliação como instrumento de aprendizagem institucional.

Algumas limitações restringem o alcance dos achados. Os painéis por eixo foram reduzidos, não houve terceira rodada dirigida aos indicadores divergentes, a matriz do DEMATEL foi parametrizada de modo dedutivo e a amostra restringiu-se à Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte. Dessas limitações decorre a agenda de continuidade: uma terceira rodada Delphi focada nos 17 indicadores de perfil, a coleta empírica da matriz DEMATEL por elicitação direta junto aos especialistas, a validação piloto da ferramenta ao longo de um ciclo letivo completo e a expansão geográfica do processo a outras regiões do país.

Os caminhos de continuidade decorrem diretamente das limitações apontadas nos dois artigos: (i) uma terceira rodada Delphi dirigida aos 17 indicadores divergentes, com reformulação semântica dos enunciados de pertinência ambígua e ampliação do painel de Educação para a Sustentabilidade; (ii) a coleta empírica da matriz DEMATEL por elicitação direta junto aos especialistas, em substituição à parametrização dedutiva; (iii) a validação piloto da ferramenta CESR em escolas da RMVPLN ao longo de um ciclo letivo completo, avaliando usabilidade, tempo de preenchimento e completude dos dados; (iv) a expansão geográfica do processo Delphi a outras regiões do país, com análise fatorial confirmatória multigrupo para testar a invariância da estrutura de quatro eixos; e (v) o desenvolvimento de plataforma digital para automatizar o monitoramento dos indicadores, linha já indicada no Artigo 1. A aplicação piloto e a avaliação da ferramenta, que não integraram o escopo desta dissertação, constituem o objeto central dessa continuidade.

Quanto ao alcance por nível de ensino, a CESR foi parametrizada e validada em unidades públicas de educação básica dos anos finais do ensino fundamental e do ensino médio. Sua estrutura hierárquica (Eixo › Categoria › Subcategoria › Indicador › Parâmetro) e a lógica de aplicabilidade admitem a adaptação a outros níveis e a escolas privadas, mediante nova parametrização e validação local. Para o ensino superior, que já dispõe de instrumentos consolidados, como o UI GreenMetric e o STARS, o grupo de pesquisa reconheceu e validou indicadores próprios (Siqueira; Ferreira; Fiore, 2023); a transposição da CESR a esse nível exigiria a reponderação dos eixos, pois as prioridades de gestão de grandes campi diferem da escala do cotidiano escolar, como discutido no Artigo 1.

A incorporação da certificação em políticas públicas encontra respaldo normativo na Política Nacional de Educação Ambiental (Lei nº 9.795/1999), no Programa Escolas

Sustentáveis (MEC/FNDE) e, sobretudo, no ProNAMEA (Portaria MMA/GM nº 1.715/2026) e no Sistema MonitoraEA, que demandam instrumentos de avaliação participativos, validados e replicáveis. Um caminho concreto é a adoção da CESR por secretarias municipais e estaduais de educação como instrumento de autoavaliação anual e de auditoria externa bienal, com reconhecimento público dos patamares alcançados (Bronze, Prata, Ouro e Platina) na forma de selo, à semelhança da lógica de premiação e melhoria contínua do PNQS incorporada à ferramenta. Os resultados por eixo permitem orientar a priorização de investimentos em infraestrutura, formação e contingência nas unidades de menor desempenho, sem o estigma de reprovação, e podem fundamentar mecanismos de incentivo às escolas mais sustentáveis e resilientes.

Em escala nacional, a ferramenta foi concebida como instrumento de governança multinível, da escola ao município e à região metropolitana, com indicadores alinhados ao painel urbano da ISO 37120 e às normas NBR ISO 37122 e 37123. Uma aplicação nacional poderia estruturar a coleta de dados de modo análogo ao do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), com preenchimento periódico pelas unidades e consolidação por rede de ensino, e correlacionar os resultados aos indicadores já coletados pelo MEC/INEP, como os dados de infraestrutura e serviços das unidades registrados no Censo Escolar da Educação Básica (abastecimento de água, esgotamento sanitário, energia elétrica, coleta de lixo, acesso à internet e existência de biblioteca, laboratórios, quadra de esportes e área verde). A verificação dessa possibilidade depende da validação piloto e da expansão geográfica previstas, bem como da compatibilização dos parâmetros da CESR com os campos já existentes nessas bases.

Espera-se, como impacto social, que a CESR contribua para a institucionalização da sustentabilidade e da resiliência como valores organizacionais das escolas públicas brasileiras, oferecendo a gestores, professores e redes de ensino um instrumento transparente, replicável e operacionalmente viável, capaz de conectar o cotidiano escolar às políticas públicas e às metas globais de desenvolvimento sustentável.

REFERÊNCIAS

ABNT — ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 37122**: cidades e comunidades sustentáveis — indicadores para cidades inteligentes. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ABNT — ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 37123**: cidades e comunidades sustentáveis — indicadores para cidades resilientes. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

FERREIRA, A. B.; OLIVATO, D.; FIORE, F. A. Structuring resilience indicators applicable for educational institutions: a conceptual framework for climate adaptation and management. **Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação**, Araraquara, v. 21, e19449, 2026. DOI: https://doi.org/10.21723/riaee.v21i00.1944902.

FERREIRA, A. B.; PEREIRA, V. R.; FIORE, F. A. Principles and barriers of education for sustainability identified in the activities of the Sustainable School Project. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 27, p. 1, 2024. DOI: https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc00052vu27l3oa.

FERREIRA, A. B. et al. Uso do mapeamento colaborativo como ferramenta de Educação para Sustentabilidade (EpS). In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL (ABES), 32., 2023, Belo Horizonte. **Anais**. Belo Horizonte: ABES, 2023.

FERREIRA, A. B.; SANCHES-PEREIRA, A.; FIORE, F. A. Construindo cidades sustentáveis e inteligentes: a sinergia entre economia circular, ODS e indicadores de saneamento. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL (SILUBESA), 21., 2024, Recife. **Anais**. Recife: ABES, 2024.

FIORE, F. A. et al. Vivências de educação ambiental a partir de atividades de caracterização de resíduos sólidos em unidades educacionais: estudo de caso realizado em escolas municipais de São José dos Campos (SP). **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, v. 17, n. 2, p. 60-72, 2022.

GENTILINI, J. A. Atores, cenários e planos: o planejamento estratégico situacional e a educação. **Cadernos de Pesquisa**, v. 44, p. 580-601, 2014.

PEREIRA, V. R.; FERREIRA, A. B.; FIORE, F. A. Vivências de educação ambiental a partir de atividades de caracterização de resíduos sólidos em unidades educacionais. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL (ABES), 31., 2021, Curitiba. **Anais**. Curitiba: ABES, 2021.

PMSJC. Prefeitura Municipal de São José dos Campos. **Programa Municipal Revitalização de Nascentes em Áreas Públicas Urbanas Municipais**. São José dos Campos, 2006.

SIQUEIRA, N. C. M.; FERREIRA, A. B.; FIORE, F. A. Reconhecimento e validação de indicadores de sustentabilidade aplicáveis ao ensino superior: estudo de caso aplicado à Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (Unesp). **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, v. 18, n. 5, p. 368-381, 2023. DOI: https://doi.org/10.34024/revbea.2023.v18.14845.

SOUZA, B. S.; FERREIRA, A. B.; SOUZA, R. G.; FIORE, F. A. Definição de indicadores de sustentabilidade aplicáveis a unidades educacionais. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 27, e00214, 2024.

APÊNDICE A – MATERIAIS SUPLEMENTARES

Os materiais suplementares desta dissertação estão disponíveis em acesso aberto nos endereços a seguir, transcritos por extenso para permitir o acesso também a partir da versão impressa.

Os materiais suplementares do Artigo 2 (Capítulo 3) estão também reunidos no repositório aberto https://github.com/arthbispo/Certifica-o-Escolar.

Artigo 1 (Capítulo 2) – disponíveis junto ao artigo, em https://doi.org/10.21723/riaee.v21i00.1944902: Supplementary material 1 – Questionários; Supplementary material 2 – Boxplots dos resultados; Supplementary material 3 – Análise estatística; Supplementary material 4 – Mapas mentais referentes aos ODS; Supplementary material 5 – Conformação indicadores Sustentabilidade × ODS.

Artigo 2 (Capítulo 3):

Material Suplementar 1 – Formulários de reconhecimento de parâmetros: https://drive.google.com/drive/folders/1Sgik6YL1dq4eSaM--68Fy13jhq5kKh-y?usp=sharing

Material Suplementar 2 – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido: https://drive.google.com/drive/folders/183Jiacc_mUnFg4pjGOSSLAy03D8Y9f8f?usp=drive_link

Material Suplementar 3 – Formulários Delphi (Rodadas 1 e 2): https://drive.google.com/drive/folders/1pA9vYnozbeelpboDYtMxJvxLHORkCpfb?usp=sharing

Material Suplementar 4 – Scripts Python das análises estatísticas do Delphi: https://drive.google.com/drive/folders/1NnPUxxvwgNOUxbZsOGEU7ZcaztvDCKXm?usp=sharing

Material Suplementar 5 – Estrutura integral dos eixos (Eixo › Categoria › Subcategoria › Indicador › Parâmetro): https://drive.google.com/drive/folders/1QgWtbMiXal3qKG2yS0UJo-HR9Xd9A10W?usp=sharing

Material Suplementar 6 – Análise AHP completa e cálculo DEMATEL: https://drive.google.com/drive/folders/1gPTqNMnYbImcRyrUhvIHEN1T7h2-J5ay?usp=sharing

ANEXO A – AUTORIZAÇÃO DA REVISTA PARA SUBMISSÃO EM REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL

Declaração de Direito Autoral publicada pela Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação (RIAEE) em sua página de submissões, e registro da revista no Diadorim, acessados em 4 out. 2026. A licença vigente declarada pela revista é a Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), a mesma impressa no artigo; o registro Diadorim traz informação anterior (CC BY-NC).

Declaração de Direito Autoral

Open Access

A Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação publica os trabalhos em Acesso Aberto (Open Access) sob a licença *Creative Commons Attribution*, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Copyright

Os autores retêm todos os direitos, sem restrições, sobre os trabalhos publicados sob a licença *Creative Commons Attribution*, concedendo à Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação apenas o direito à primeira publicação.

Última atualização: 31 de janeiro de 2026.

Disponível em: https://periodicos.fclar.unesp.br/iberoamericana/about/submissions. Acesso em: 4 out. 2026.

Registro da revista no Diadorim (Diretório de Políticas Editoriais das Revistas Científicas Brasileiras, IBICT)

Título: Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação (Online)
Situação: Vigente
Instituição editora: Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP)
Organismo subordinado: Não Informado pela instituição
Natureza jurídica da instituição editora: Instituição pública
Editor responsável: José Luís Bizelli
Telefone: (16) 99781-8113
E-mail: bizelli@fclar.unesp.br
URL: http://seer.fclar.unesp.br/iberoamericana/index
URL OAI: Não Informado pela instituição
ISSN: 1982-5587
ISSN-L: 1982-5587
Áreas do conhecimento: Ciências humanas
Permissão de submissão de preprint: Não Informado pela instituição

Permissão de armazenamento e acesso à versão preprint: A revista permite o armazenamento e acesso, em repositórios institucionais/digitais, da versão pré-print do documento submetido para avaliação

Permissão de armazenamento e acesso à versão pós-print do autor: A revista permite o armazenamento e acesso, em repositórios institucionais/digitais, da versão pós-print do autor

Permissão de armazenamento e acesso à versão pós-prints da revista: A revista permite o armazenamento e acesso, em repositórios institucionais/digitais, a todos os pós-print da revista.

Selo de armazenamento e acesso: Verde: permite o armazenamento e acesso das versões preprint e pós-print dos documentos em repositórios institucionais/digitais

Prazo para disponibilização de documentos: Imediatamente após a aceitação do artigo

Tipo de acesso: Acesso aberto imediato

Licença Creative Commons: Permite remixagem, adaptação e criação a partir da obra, desde que seja atribuído o crédito ao autor e que a nova criação não seja usada para fins comerciais (CC BY-NC)

Identificador: miguilim/4431

Última modificação: 23-06-2026 10:49

Referência Bibliográfica: REVISTA IBERO-AMERICANA DE ESTUDOS EM EDUCAÇÃO (ONLINE). Araraquara: Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), 2006. ISSN 1982-5587.

Disponível em: https://diadorim.ibict.br/vufind/Record/4431. Acesso em: 4 out. 2026.

DADOS CURRICULARES

IDENTIFICAÇÃO	
	ARTHUR BISPO FERREIRA 07/05/1996
Nacionalidade	brasileira
Nome em citações bibliográficas:	FERREIRA, Arthur Bispo FERREIRA, A. B.
Currículo Lattes	http://lattes.cnpq.br/9736817044758672
ORCID	https://orcid.org/0000-0001-5991-8324
outro identificador	https://www.linkedin.com/in/arthur-bispo-ferreira/
FORMAÇÃO ACADÊMICA	
2023/2026	Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP). Dissertação defendida em 07/08/2026.
2017/2023	Graduação em Engenharia Ambiental, Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Campus de São José dos Campos.
PRODUÇÃO BIBLIOGRÁFICA	

FERREIRA, A. B.; OLIVATO, D.; FIORE, F. A. Structuring resilience indicators applicable for educational institutions: a conceptual framework for climate adaptation and management. **Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação**, Araraquara, v. 21, e19449, 2026. DOI: https://doi.org/10.21723/riaee.v21i00.1944902.

DE ALMEIDA, M. B. G.; FERREIRA, A. B.; REIS, A. G.; SUBTIL, E. L.; FIORE, F. A. Avaliação da aplicabilidade de um reator anaeróbio compartimentado (RAC) em sistemas descentralizados para o tratamento de esgoto. **Revista DAE**, v. 74, n. 251, p. 1-14, 2026.

SOUZA, B. S.; FERREIRA, A. B.; SOUZA, R. G.; FIORE, F. A. Definição de indicadores de sustentabilidade aplicáveis a unidades educacionais. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 27, e00214, 2024.

FERREIRA, A. B.; PEREIRA, V. R.; FIORE, F. A. Principles and barriers of education for sustainability identified in the activities of the Sustainable School Project. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 27, p. 1, 2024. DOI: https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc00052vu27l3oa.

SIQUEIRA, N. C. M.; FERREIRA, A. B.; FIORE, F. A. Reconhecimento e validação de indicadores de sustentabilidade aplicáveis ao ensino superior: estudo de caso aplicado à Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (Unesp). **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, v. 18, n. 5, p. 368-381, 2023. DOI: https://doi.org/10.34024/revbea.2023.v18.14845.

FIORE, F. A.; FERREIRA, A. B.; PEREIRA, V. R.; FARINHA, E. M. K.; MORAIS, C. A.

S. Vivências de educação ambiental a partir de atividades de caracterização de resíduos sólidos em unidades educacionais: estudo de caso realizado em escolas municipais de São José dos Campos (SP). **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, v. 17, n. 2, p. 60-72, 2022.

PARTICIPAÇÃO EM EVENTOS CIENTÍFICOS

FERREIRA, A. B.; SANCHES-PEREIRA, A.; FIORE, F. A. Construindo cidades sustentáveis e inteligentes: a sinergia entre economia circular, ODS e indicadores de saneamento. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL (SILUBESA), 21., 2024, Recife. **Anais**. Recife: ABES, 2024.

FERREIRA, A. B.; PEREIRA, V. R.; SOUZA, N. G. S.; CARVALHO, F. L. C.; FIORE, F. A. Uso do mapeamento colaborativo como ferramenta de Educação para Sustentabilidade (EpS). In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL (ABES), 32., 2023, Belo Horizonte. **Anais**. Belo Horizonte: ABES, 2023.

PEREIRA, V. R.; FERREIRA, A. B.; FIORE, F. A. Vivências de educação ambiental a partir de atividades de caracterização de resíduos sólidos em unidades educacionais. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL (ABES), 31., 2021, Curitiba. **Anais**. Curitiba: ABES, 2021.