

Ranking Tríade Educação-Água-Clima (ODS 4, ODS 6 e ODS 13) para os municípios de Alagoas: um índice composto orientado à resiliência socioambiental e à efetividade de políticas locais

Cauã Queiroz Fernandes de Sousa

Graduando em Ciências Econômicas
Universidade Federal de Alagoas, Brasil
caua.sousa@feac.ufal.br
ORCID: 0009-0006-6872-076X

José Eduardo Honorato Silva

Graduando em Administração
Universidade Federal de Alagoas, Brasil
jose.honorato@feac.ufal.br
ORCID: 0009-0003-6490-2898

Jéssica Thayná de Oliveira Almeida Casemiro

Graduando em Ciências Econômicas
Universidade Federal de Alagoas, Brasil
jessica.almeida@feac.ufal.br
ORCID: 0009-0009-6322-8989

Walter Araújo de Lima Filho

Doutorando em Administração
Universidade de Brasília, Brasil
walter.araujo95@gmail.com
ORCID: 0000-0002-4972-1373

Fabíola Kaczam

Doutorando em Administração/Pós-Doutoranda CAPES PPGE
Universidade Federal de Alagoas, Brasil
kaczamf@gmail.com
ORCID: 0000-0002-0460-9927

Márcio Jorge Porangaba Costa

Docente - FEAC/UFAL
Universidade Federal de Alagoas, Brasil
marcio.costa@feac.ufal.br
ORCID: 0009-0007-2828-3996

Ranking Tríade Educação-Água-Clima (ODS 4, ODS 6 e ODS 13) para os municípios de Alagoas: um índice composto orientado à resiliência socioambiental e à efetividade de políticas locais

RESUMO

Objetivo - Construir e validar um ranking composto (Índice-Tríade) para os municípios de Alagoas, baseado nas pontuações do IDSC-BR nos ODS 4, 6 e 13, identificando padrões de sinergia e trade-offs para orientar prioridades de política pública.

Metodologia - Pesquisa quantitativa exploratória. Utilizou-se a média trienal (2023-2025) dos escores do IDSC-BR para os 102 municípios alagoanos, calculando-se um índice composto agregado por média aritmética, associado a uma medida de dispersão interna (desvio-padrão) para evitar compensações espúrias.

Originalidade/relevância - Preenche a lacuna de estudos empíricos comparativos em escala subnacional no Nordeste brasileiro, utilizando métricas padronizadas para traduzir o desenvolvimento sustentável em tipologias acionáveis para a gestão pública.

Resultados - O ODS 13 apresentou melhor desempenho médio, o ODS 6 exibiu extrema heterogeneidade territorial e o ODS 4 configurou-se como o principal gargalo estrutural. Identificou-se sinergia estatística entre Educação e Saneamento, e desacoplamento entre Educação e Clima.

Contribuições teóricas/metodológicas - Proposição de um instrumento replicável de triagem territorial que combina o índice agregado (IT) com a dispersão interna (DP), reduzindo o risco de interpretações compensatórias em índices de sustentabilidade.

Contribuições sociais e ambientais - Produção de uma tipologia municipal (alto equilíbrio, desequilíbrio por gargalo e vulnerabilidade crítica) que fornece subsídios diretos para a alocação eficiente de recursos e formulação de políticas locais integradas.

PALAVRAS-CHAVE: Agenda 2030. Políticas Públicas Locais. Índices Compostos. Desenvolvimento Regional. Alagoas.

Education-Water-Climate Triad Ranking (SDG 4, SDG 6, and SDG 13) for the municipalities of Alagoas: a composite index oriented towards socio-environmental resilience and local policy effectiveness

ABSTRACT

Objective - To build and validate a composite ranking (Triad-Index) for the municipalities of Alagoas, based on IDSC-BR scores in SDGs 4, 6, and 13, identifying patterns of synergy and trade-offs to guide public policy priorities.

Methodology - Exploratory quantitative research. The triennial average (2023-2025) of IDSC-BR scores for the 102 municipalities was used, calculating a composite index aggregated by arithmetic mean, associated with an internal dispersion measure (standard deviation) to avoid spurious compensations.

Originality/Relevance - It fills the gap of comparative empirical studies at the subnational scale in the Brazilian Northeast, using standardized metrics to translate sustainable development into actionable typologies for public management.

Results - SDG 13 showed the best average performance, SDG 6 exhibited extreme territorial heterogeneity, and SDG 4 emerged as the main structural bottleneck. Statistical synergy was identified between Education and Sanitation, and a decoupling between Education and Climate.

Theoretical/Methodological Contributions - Proposal of a replicable territorial screening instrument that combines the aggregated index (IT) with internal dispersion (DP), reducing the risk of compensatory interpretations in sustainability indices.

Social and Environmental Contributions - Production of a municipal typology (high balance, bottleneck imbalance, and critical vulnerability) that provides direct subsidies for efficient resource allocation and the formulation of integrated local policies.

KEYWORDS: 2030 Agenda. Local Public Policies. Composite Indices. Regional Development. Alagoas.

Ranking Tríada Educación-Agua-Clima (ODS 4, ODS 6 y ODS 13) para los municipios de Alagoas: un índice compuesto orientado a la resiliencia socioambiental y la efectividad de las políticas locales

RESUMEN

Objetivo - Construir y validar un ranking compuesto (Índice-Tríada) para los municipios de Alagoas, basado en las puntuaciones del IDSC-BR en los ODS 4, 6 y 13, identificando patrones de sinergia y trade-offs para orientar

prioridades de política pública.

Metodologia - Investigación cuantitativa exploratoria. Se utilizó el promedio trienal (2023-2025) de las puntuaciones del IDSC-BR para los 102 municipios, calculando un índice compuesto agregado por media aritmética, asociado a una medida de dispersión interna (desviación estándar) para evitar compensaciones espurias.

Originalidad/Relevancia - Llena el vacío de estudios empíricos comparativos a escala subnacional en el noreste de Brasil, utilizando métricas estandarizadas para traducir el desarrollo sostenible en tipologías procesables para la gestión pública.

Resultados - El ODS 13 presentó el mejor desempeño promedio, el ODS 6 exhibió una extrema heterogeneidad territorial y el ODS 4 se configuró como el principal cuello de botella estructural. Se identificó sinergia estadística entre Educación y Saneamiento, y desacoplamiento entre Educación y Clima.

Contribuciones Teóricas/Metodológicas - Propuesta de un instrumento replicable de cribado territorial que combina el índice agregado (IT) con la dispersión interna (DP), reduciendo el riesgo de interpretaciones compensatorias en los índices de sostenibilidad.

Contribuciones Sociales y Ambientales - Producción de una tipología municipal (alto equilibrio, desequilibrio por cuello de botella y vulnerabilidad crítica) que proporciona subsidios directos para la asignación eficiente de recursos y la formulación de políticas locales integradas.

PALABRAS CLAVE: Agenda 2030. Políticas Públicas Locales. Índices Compuestos. Desarrollo Regional. Alagoas.

RESUMO GRÁFICO

Ranking Tríade Educação-Água-Climático (ODS 4, 6 e 13) para Municípios de Alagoas



INTRODUÇÃO

A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável consolidou-se como o principal referencial internacional para orientar políticas públicas voltadas à redução de desigualdades, à promoção do bem-estar social e à sustentabilidade ambiental (ONU, 2015; Fukuda-Parr; McNeill, 2019). Embora seus 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) tenham caráter global, sua efetividade depende fundamentalmente da implementação em escala local, onde políticas públicas são formuladas, executadas e monitoradas (Reddy, 2016; Leavesley; Trundle; Oke, 2022; Perry et al., 2021; PNUD, 2025).

Nesse sentido, a mensuração do desempenho municipal torna-se elemento central para compreender avanços, retrocessos e assimetrias territoriais, sobretudo em contextos marcados por desigualdades estruturais persistentes, como o brasileiro (Miola; Schiltz, 2019; Dang; Serajuddin, 2020; Monteiro Neto, 2014).

A literatura sobre desenvolvimento sustentável evoluiu a partir da crítica ao crescimento econômico dissociado das dimensões sociais e ambientais, ganhando maior densidade conceitual com a institucionalização da Agenda 2030. Estudos iniciais enfatizaram a necessidade de indicadores capazes de captar múltiplas dimensões do desenvolvimento, superando métricas exclusivamente econômicas (Fukuda-Parr & McNeill, 2019).

Com a consolidação dos ODS, o debate passou a incorporar a importância da territorialização das metas, reconhecendo que médias nacionais ocultam desigualdades subnacionais relevantes (Kroll et al., 2019). Trabalhos recentes destacam que a ausência de instrumentos locais padronizados compromete a comparabilidade e a efetividade do monitoramento, reforçando a necessidade de índices sintéticos aplicáveis ao nível municipal (Allen et al., 2018).

No Brasil, iniciativas como o Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades (IDSC-BR) emergem como resposta a esse desafio, ao traduzir os ODS em indicadores comparáveis entre municípios, permitindo diagnósticos mais precisos e orientados à formulação de políticas públicas (SDSN, 2021).

Apesar desses avanços, a literatura ainda carece de análises empíricas sistemáticas que explorem, de forma comparativa, o desempenho municipal em contextos regionais específicos, especialmente em estados do Nordeste brasileiro. Estudos indicam que desigualdades institucionais, fiscais e socioeconômicas influenciam diretamente a capacidade dos municípios de avançar nos ODS, gerando padrões territoriais assimétricos e persistentes (Sachs et al., 2020; Scarpellini et al., 2020). No entanto, grande parte dessas análises permanece em nível agregado ou descritivo, limitando a identificação de municípios líderes e retardatários e dificultando a tradução dos resultados em diretrizes concretas de política pública.

Dessa forma, a problemática que orienta este estudo consiste em compreender como se distribuem as desigualdades no cumprimento dos ODS em Alagoas, a partir das pontuações do IDSC-BR para os ODS 4, 6 e 13, e quais implicações esses resultados apresentam para o direcionamento de políticas públicas locais. A literatura aponta que a ausência de sínteses quantitativas baseadas em métricas padronizadas dificulta a consolidação de evidências comparáveis e a avaliação do desempenho relativo entre municípios (Miola; Schiltz, 2019; Schmidt-Traub et al., 2021).

A lacuna central reside, portanto, na escassez de estudos que utilizem pontuações/índices padronizados para construir rankings municipais e analisar desigualdades intraestaduais no cumprimento da Agenda 2030, incorporando explicitamente trade-offs e desequilíbrios entre pilares. Revisões e marcos recentes ressaltam a necessidade de análises empíricas localizadas que conectem mensuração do desenvolvimento sustentável à governança pública e à formulação de políticas territoriais (Biermann et al., 2020; Bennich et al., 2023).

No caso de Alagoas, essa lacuna analítica torna-se ainda mais evidente, em razão da acentuada heterogeneidade socioeconômica entre seus municípios e da escassez de estudos comparativos metodologicamente reprodutíveis, orientados à construção de tipologias capazes de subsidiar a tomada de decisão pública. As disparidades territoriais impõem desafios estruturais distintos entre o Sertão, o litoral e os centros urbanos, exigindo abordagens diferenciadas de política pública. Municípios com menores níveis de investimento em educação, infraestrutura e serviços básicos tendem a apresentar desvantagens cumulativas, o que reforça a necessidade de estratégias territorialmente calibradas, capazes de enfrentar desigualdades históricas e promover maior equidade no desenvolvimento regional (Soares et al., 2025; Silva, 2024).

Desta forma, o objetivo deste estudo é construir e analisar um ranking composto (Índice-Triade) do desempenho municipal em Alagoas na Agenda 2030, a partir das pontuações do IDSC-BR para os ODS 4, 6 e 13, considerando a média do triênio 2023–2025 e a trajetória anual no período. O estudo identifica municípios líderes e retardatários, avalia padrões de sinergia, desacoplamento e *trade-offs* interdimensionais e, por fim, propõe uma tipologia municipal (alto equilíbrio, desequilíbrio por gargalo e vulnerabilidade crítica) para orientar prioridades de política pública e a alocação de esforços em dimensões críticas.

Do ponto de vista científico, o estudo contribui ao integrar a literatura internacional sobre monitoramento dos ODS com uma aplicação empírica em nível municipal, respondendo a chamadas por evidências subnacionais robustas (Dang; Serajuddin, 2020). Sob a ótica prática, relatórios institucionais apontam que o Brasil enfrenta dificuldades significativas para cumprir a Agenda 2030, especialmente em regiões com maiores desigualdades territoriais, reforçando a necessidade de diagnósticos precisos para orientar a alocação de recursos públicos (UNDP, 2023). A identificação de municípios com melhor e pior desempenho oferece subsídios diretos para o aprimoramento da gestão pública local.

As próximas seções estão divididas em referencial teórico sobre territorialização dos ODS e mensuração via índices compostos, descrição da metodologia e resultados empíricos do Índice-Triade e das interações entre dimensões, que discute implicações para a efetividade das políticas locais em Alagoas.

REFERENCIAL TEÓRICO

A avaliação do desempenho municipal na Agenda 2030 requer métricas capazes de traduzir sistemas complexos, com múltiplas dimensões, escalas e incertezas, em instrumentos operacionais para planejamento, priorização e accountability. Nesse debate, a ciência da sustentabilidade consolidou-se como esforço de integração entre problemas acoplados sociais, ambientais e econômicos, conectando produção de conhecimento, governança e tomada de decisão em diferentes níveis territoriais (Kates et al., 2001).

Esse enquadramento é particularmente relevante para os ODS porque, embora globais, dependem de processos de territorialização para se materializarem em políticas, serviços e infraestrutura no nível local. A literatura sobre localização dos ODS destaca que cidades e regiões funcionam como arenas onde metas são convertidas em instrumentos, arranjos intersetoriais, orçamentos e rotinas de monitoramento, ao mesmo tempo em que operam sob restrições de capacidade institucional e desafios de coordenação multinível (OECD, 2020; OECD, 2024; Perry et al., 2021; Leavesley; Trundle; Oke, 2022).

Nesse contexto, índices compostos e rankings são úteis para comparar territórios e explicitar desigualdades, desde que tornem transparentes as escolhas metodológicas relativas à seleção de indicadores, normalização, ponderação e agregação, apresentem checagens de robustez e sensibilidade e reconheçam limites interpretativos que inibem inferências indevidas.

A literatura metodológica mostra que diferentes escolhas de ponderação e agregação podem alterar ordenações e diagnósticos, o que torna indispensáveis transparência, rastreabilidade e auditoria metodológica (Nardo et al., 2005; Saisana; Saltelli; Tarantola, 2005; Greco et al., 2019; Zhou et al., 2006). Em Alagoas, bases e plataformas já consolidadas, como o IDSC-BR permitem leitura comparativa e identificação de assimetrias internas, desde que o índice seja reprodutível, documentado e passível de replicação por outras equipes e instâncias de controle (Instituto Cidades Sustentáveis; SDSN, 2021).

Tríade Educação–Água–Clima e territorialização da Agenda 2030

A Agenda 2030 reposiciona o desenvolvimento como trajetória integrada na qual políticas sociais e ambientais são mutuamente condicionantes e produzem efeitos combinados no bem-estar e na sustentabilidade. Para municípios, esse marco é decisivo porque é no nível local que metas globais se materializam em serviços de educação básica, provisão de água e saneamento e capacidades de prevenção e resposta associadas à gestão de riscos e impactos ambientais. A literatura enfatiza que essa tradução exige coordenação intersetorial, alinhamento com capacidades administrativas e mecanismos de monitoramento consistentes, sob risco de implementação fragmentada e pouco efetiva (OECD, 2020; Perry et al., 2021; Leavesley; Trundle; Oke, 2022).

No plano analítico, a Tríade Educação Água Clima, associada aos ODS 4, 6 e 13, articula capacidades humanas, infraestrutura essencial e risco climático como um teste sistêmico do desempenho municipal. Educação, nesse enquadramento, não opera apenas como resultado social, pois também compõe uma base de capacidades que afetam governança, planejamento, acesso à informação e participação social, elementos relevantes para lidar com choques e para sustentar trajetórias de desenvolvimento. Água e saneamento, por sua vez, representam condições materiais para saúde, dignidade e produtividade social, além de constituírem infraestrutura sensível a eventos extremos. O clima atua como multiplicador de riscos, podendo interromper serviços, degradar infraestrutura e ampliar vulnerabilidades. A noção de resiliência adotada segue o IPCC e compreende a capacidade de sistemas sociais, econômicos e ecológicos interconectados lidarem com eventos perigosos, reorganizarem-se e manterem funções essenciais, com possibilidade de adaptação, aprendizagem e transformação (IPCC, 2022).

A dimensão relacional dos ODS exige interpretar desempenho como interação entre objetivos e não como soma de metas. A literatura sobre interações entre ODS sistematiza sinergias e trade-offs e oferece base conceitual para identificar situações em que avanços em um objetivo aceleram outros, bem como situações em que tensões persistem por restrições de capacidade, governança ou desenho institucional (Nilsson; Griggs; Visbeck, 2016; Pradhan et al., 2017).

Aplicada à tríade, essa lente permite reconhecer que avanços em educação e saneamento tendem a ampliar a capacidade adaptativa e a resiliência socioambiental, mas não impedem que bons resultados em um pilar convivam com déficits críticos em outro. Portanto, possíveis desequilíbrios entre ODS 4, ODS 6 e ODS 13 podem sinalizar prioridades pouco coordenadas, integração intersetorial insuficiente e vulnerabilidades estruturais, sobretudo em contextos de restrição fiscal, assim como capacidade administrativa limitada, condições recorrentes na implementação local dos ODS (van Zanten; van Tulder, 2021; OECD, 2024; Perry et al., 2021).

Índices compostos, rankings e bases municipais como infraestrutura analítica

Para transformar indicadores em ranking é necessário explicitar um modelo de mensuração e agregação. Esse modelo define quais dimensões importam, como cada indicador

é tratado quanto à escala, direção e outliers; como se processam a normalização e a agregação; e qual é a justificativa para os pesos e regras de compensação entre as dimensões. A literatura sobre índices compostos destaca etapas críticas e recomenda validação por robustez e sensibilidade, precisamente porque diferentes escolhas metodológicas podem alterar posições e leituras substantivas e, portanto, modificar o diagnóstico que sustenta decisões públicas (Nardo et al., 2005; Greco et al., 2019; Saisana; Saltelli; Tarantola, 2005; Zhou et al., 2006).

Ao considerar que as posições em um ranking podem variar conforme as escolhas metodológicas, a classificação obtida não deve ser tratada apenas como uma forma de “divulgar resultados”, mas como uma evidência que precisa ser governada com transparência. Rankings são instrumentos descritivos, úteis para comparação e para focalizar prioridades, porém não demonstram causalidade por si só. Por isso, um índice orientado à efetividade de políticas deve apresentar, junto ao resultado ordinal, documentação metodológica reprodutível, leitura por dimensões e indicação de incertezas e sensibilidade, de modo que a posição no ranking não substitua o diagnóstico nem o desenho de intervenções.

No caso brasileiro, o IDSC-BR ilustra uma arquitetura de mensuração municipal em larga escala com metodologia documentada e regras públicas de construção e classificação. Esse tipo de referência pode apoiar escolhas de indicadores e estratégias de comunicação de resultados, além de oferecer uma base comparativa para leitura territorial (SDSN, 2021).

Sinergias, trade-offs e tipologias orientadas à política pública

Uma contribuição decisiva da literatura recente é incorporar interações diretas e indiretas entre objetivos, reduzindo leituras simplificadas de causalidade linear. Estudos empíricos e revisões indicam que sinergias tendem a dominar o sistema de interações em muitos contextos, mas isso não elimina trade-offs localizados que podem concentrar impactos em populações vulneráveis e em territórios com baixa capacidade estatal, o que reforça a necessidade de leitura territorialmente sensível (Bennich et al., 2023; Kuc-Czarnecka et al., 2023; Xiao et al., 2023; Clement et al., 2023).

Para municípios, a implicação é prática. Políticas setoriais podem melhorar resultados educacionais e, simultaneamente, manter déficits ambientais básicos se infraestrutura e governança não acompanham. Nonexo educação e saneamento, há evidências e sínteses que sustentam a importância de serviços WASH nas escolas para saúde, dignidade e condições de aprendizagem, reforçando a coerência entre ODS 4 e ODS 6 no nível local (UNICEF, 2024). Evidências para o Brasil em escala municipal também apontam associações entre condições de saneamento e indicadores educacionais, sugerindo complementaridade entre políticas de saneamento e de educação e indicando que gargalos do ODS 6 podem limitar trajetórias de capital humano e, portanto, o desempenho do ODS 4 (Scriptore; Azzoni, 2020; Moreira et al., 2024).

Diante disso, um Índice-Tríade orientado à política pública deve captar, simultaneamente, desempenho agregado e desequilíbrios entre pilares, distinguindo municípios com perfil mais equilibrado daqueles cujo resultado é sustentado por apenas uma dimensão. Em termos de uso governamental, essa orientação recomenda complementar o ranking por tipologias que classifiquem territórios por equilíbrio e vulnerabilidade, pois tipologias tendem a ser mais acionáveis para priorização e desenho de políticas do que uma posição ordinal isolada, especialmente quando a decisão envolve trade-offs e restrições de capacidade (Bennich et al., 2023; Kuc-Czarnecka et al., 2023; Li et al., 2024; Blancas; Contreras, 2025; OECD, 2020).

METODOLOGIA

A pesquisa adota abordagem quantitativa, com delineamento exploratório, orientada à construção e validação interpretativa de um ranking composto (Índice-Tríade) para os municípios de Alagoas, fundamentado nas pontuações do IDSC-BR associadas aos ODS 4, 6 e 13. A opção por um índice composto deriva da necessidade de sintetizar múltiplas dimensões em uma métrica comparável, explicitando decisões de agregação e garantindo transparência e reprodutibilidade, elementos críticos em exercícios de mensuração territorial (Greco et al., 2019; Zhou et al., 2010).

O uso de relatórios anuais do IDSC-BR e de escores municipais referentes a 2023, 2024 e 2025 possibilita comparações intermunicipais e avaliação de estabilidade do desempenho no curto prazo, com potencial de subsidiar prioridades de política pública. O delineamento exploratório é compatível com a investigação de relações ainda pouco sistematizadas entre metas e dimensões dos ODS em escala subnacional, sobretudo quando o foco recai sobre a identificação de interdependências, sinergias e *trade-offs* sob diferentes perfis de governança local (Miola; Schiltz, 2019; Leavesley; Trundle; Oke, 2022).

Procedimentos de coleta e tratamento de dados

A coleta concentrou-se nos relatórios anuais do IDSC-BR (2023–2025), assegurando rastreabilidade de versões e consistência de campos necessários à análise longitudinal. A estratégia de obtenção foi orientada por critérios de comparabilidade e completude, de modo a sustentar a leitura municipal dos ODS com base em métricas padronizadas, apropriadas para síntese, comunicação de desempenho e apoio à tomada de decisão em níveis territoriais (Dang; Serajuddin, 2020; Mangukiya; Sklarew, 2023).

O universo analítico abrangeu a totalidade dos 102 municípios de Alagoas, configurando desenho censitário e evitando vieses de seleção. O recorte temático para os ODS 4, 6 e 13 foi motivado pela centralidade da tríade Educação–Água–Clima para o desenvolvimento sustentável municipal e pela reconhecida existência de interações entre objetivos, que podem se manifestar como complementaridades (sinergias) ou tensões (*trade-offs*) na implementação local (Nilsson; Griggs; Visbeck, 2016; Pradhan et al., 2017).

O tratamento dos dados foi conduzido em Python, contemplando: padronização de identificadores (códigos IBGE), normalização de nomes municipais (limpeza de strings) e filtragem por unidade federativa, além de rotinas de validação para minimizar inconsistências que comprometeriam o merge longitudinal e a estabilidade dos resultados. Essa etapa é decisiva para reduzir ruído e assegurar integridade da base que alimenta o índice e suas derivações analíticas (Guo et al., 2023; Talukder et al., 2017).

Para cada município e para cada ODS $J \in \{4,6,13\}$, estimaram-se duas métricas: (i) a média aritmética do triênio 2023–2025, definida como:

$$S_{i,j} = \frac{S_{i,j,2023} + S_{i,j,2024} + S_{i,j,2025}}{3},$$

destinada a reduzir flutuações e prover medida consolidada de desempenho; e (ii) a variação temporal anual,

$$\Delta S_{j,i,t} = S_{i,j,t} - S_{i,j,t-1}$$

para caracterizar a trajetória no período (Choi, 2019; Mazziotta; Pareto, 2022). O Índice-Tríade foi definido como a média aritmética das médias trienais:

$$IT_i = \frac{S_{i,4} + S_{i,6} + S_{i,13}^-}{3}$$

com pesos iguais $w_4=w_6=w_{13}=1/3$, preservando a escala original 0–100 do IDSC-BR e garantindo interpretabilidade e reprodutibilidade (Greco et al., 2019; Saisana; Saltelli; Tarantola, 2005). Para mitigar o risco de interpretação compensatória do índice, calculou-se a dispersão interna por município como o desvio-padrão entre $S_{i,4}$, $S_{i,6}$, $S_{i,13}^-$, denotado por DP_i . Valores altos de DP_i indicam desequilíbrio interdimensional e potencial “efeito compensação” (Munda; Nardo, 2009; Kuc-Czarnecka et al., 2023).

Técnica de análise

A estratégia analítica combinou leitura longitudinal (2023–2025) e diagnóstico por padrões para identificar perfis de evolução e sua consistência entre ODS, distinguindo municípios com nível alto, porém trajetória de deterioração, daqueles com nível intermediário e melhoria consistente. Essa abordagem permite qualificar o desempenho municipal não apenas pelo patamar médio, mas também pela direção e estabilidade no tempo (Ma et al., 2025; Kostetckaia; Hametner, 2022).

A validação interpretativa do ranking e da tipologia incluiu (i) checagens de consistência do pipeline (rastreadibilidade, integridade de merge e replicabilidade), (ii) análise de sensibilidade para classificação tipológica e (iii) verificação do risco de compensação por meio do DP_i . Esses procedimentos reduzem o risco de que escolhas operacionais produzam ordenações ou classes instáveis e aumentam a confiabilidade das recomendações para políticas públicas (Kelemen et al., 2024; Greco et al., 2019).

O workflow foi implementado em Google Colab, com rotinas automatizadas de merge, cálculo de métricas, geração do Índice-Triade e exportação em CSV para exploração complementar. A coerência entre coleta, tratamento, construção do índice e classificação tipológica assegura alinhamento direto com o objetivo do estudo: identificar municípios com melhor desempenho integrado na tríade Educação–Água–Clima e explicitar *trade-offs* interdimensionais que sustentam assimetrias, fortalecendo a utilidade diagnóstica e prescritiva do ranking no contexto da Agenda 2030 (Pradhan, 2019; Hegre et al., 2020).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Panorama geral: contrastes estruturais no desenvolvimento sustentável de Alagoas

Com base no IDSC-BR (média 2023–2025) para os municípios de Alagoas (N = 102; completude 100%), a Tabela 1 sintetiza três contrastes centrais: (i) o ODS 13 apresenta maior média e menor amplitude, sugerindo desempenho relativamente mais disseminado; (ii) o ODS 6 concentra a maior amplitude e o maior desvio-padrão, indicando heterogeneidade territorial pronunciada; e (iii) o ODS 4 exibe a menor média e amplitude elevada, compatível com gargalo estrutural de capacidades de longo prazo.

Tabela 1 – Estatísticas descritivas dos escores IDSC-BR (média 2023–2025) para os ODS 4, 6 e 13 em Alagoas.

Dimensão	Média	Desvio-padrão	Mínimo (município)	Máximo (município)	Amplitude
ODS 4 (Educação)	41,06	6,88	22,10 (São José do Quitunde)	65,27 (Teotônio Vilela)	42,38
ODS 6 (Saneamento)	46,44	12,84	25,00 (São Sebastião)	83,83 (Coruripe)	58,83
ODS 13 (Clima)	72,61	5,64	58,60 (Jaramataia)	88,46 (Cajueiro)	29,86

Fonte: elaboração própria a partir do IDSC-BR (2026)

Esse padrão é coerente com diagnósticos clássicos sobre índices e rankings: ao tornar comparáveis dimensões heterogêneas, o instrumento evidencia que ganhos em componentes com maior responsividade institucional ou de infraestrutura não necessariamente acompanham avanços em componentes de trajetória e acumulação (como aprendizagem). Portanto, recomenda-se cautela: o ranking organiza contrastes e prioridades, mas não substitui o diagnóstico setorial.

4.2 Construção do Índice-Tríade: escolhas metodológicas e implicações

A construção do Índice-Tríade (IT) foi deliberadamente parcimoniosa: manutenção da escala 0–100 do IDSC-BR, pesos iguais ($w = 1/3$) e agregação por média aritmética, visando interpretabilidade e comunicação pública. Essa decisão é consistente com guias metodológicos que tratam índices compostos como instrumentos de síntese orientada à decisão, nos quais transparência e replicabilidade são critérios críticos (Nardo et al., 2005).

Ao mesmo tempo, a literatura aponta dilemas normativos inevitáveis: escolhas de ponderação e agregação sempre envolvem trade-offs entre robustez estatística e legibilidade; por isso, a análise conjunta do IT com a dispersão interna DP_i atua como salvaguarda prática contra compensações espúrias (Greco et al., 2019; Munda; Nardo, 2009).

Tabela 2 – Síntese das escolhas metodológicas do Índice-Tríade (IT)

Etapa	Escolha adotada	Definição operacional	Implicação para interpretação
Normalização	Distância ao referencial absoluto (manutenção 0–100)	Mantém a escala do IDSC-BR (0–100)	Preserva comparabilidade direta com “cumprimento de meta”
Pesos	Igual importância relativa	$w_4 = w_6 = w_{13} = \frac{1}{3}$	Evita hierarquização normativa entre dimensões
Agregação	Média aritmética simples	$IT_M = 0,333ODS4_M + 0,333ODS6_m + 0,33ODS13_m$	Interpretação direta como “nota média”; é compensatória
Dados ausentes	Não aplicável	Completeness 100% (N=102)	Elimina viés por imputação
Validação/sensibilidade	Dispersão interna	Uso do DP interno dos 3 ODS por município	Identifica risco de “efeito compensação” (alto IT com forte desequilíbrio)

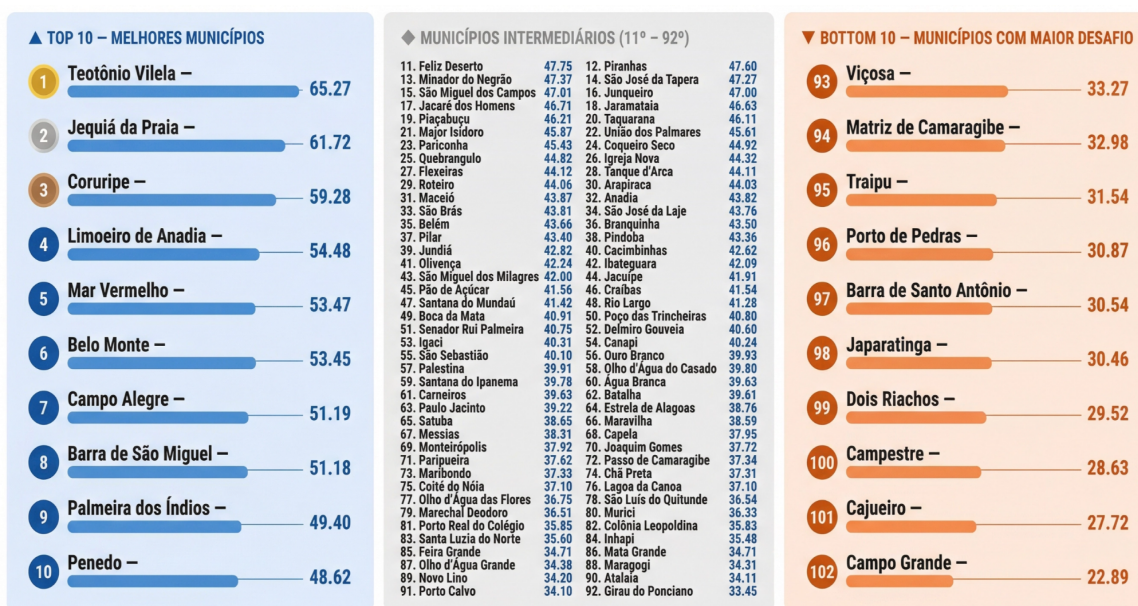
Fonte: elaboração própria (2026).

Análise setorial integrada: educação, saneamento e clima

ODS 4 – Educação: consolidação e fragilidades

O ranking do ODS 4 evidencia concentração no topo e vulnerabilidades agudas na base. Teotônio Vilela (65,27) supera a média do ODS 4 (41,06) em +24,21 pontos; Jequiá da Praia (61,72) combina alto nível com trajetória de expansão; Coruripe (59,28) apresenta perfil de estabilidade. No extremo inferior, Campo Grande (22,89), Cajueiro (27,72) e Campestre (28,63) permanecem em patamares muito baixos, sugerindo persistência de limitações estruturais. A interpretação deve ser associativa: níveis e trajetórias sinalizam que educação depende de capacidade institucional e continuidade, e não apenas de expansão quantitativa, o que é consistente com evidências de capital humano e qualidade de aprendizagem (Hanushek; Woessmann, 2008; Jacob; Rothstein, 2016)

Figura 1(a) – Ranking ODS 4 .

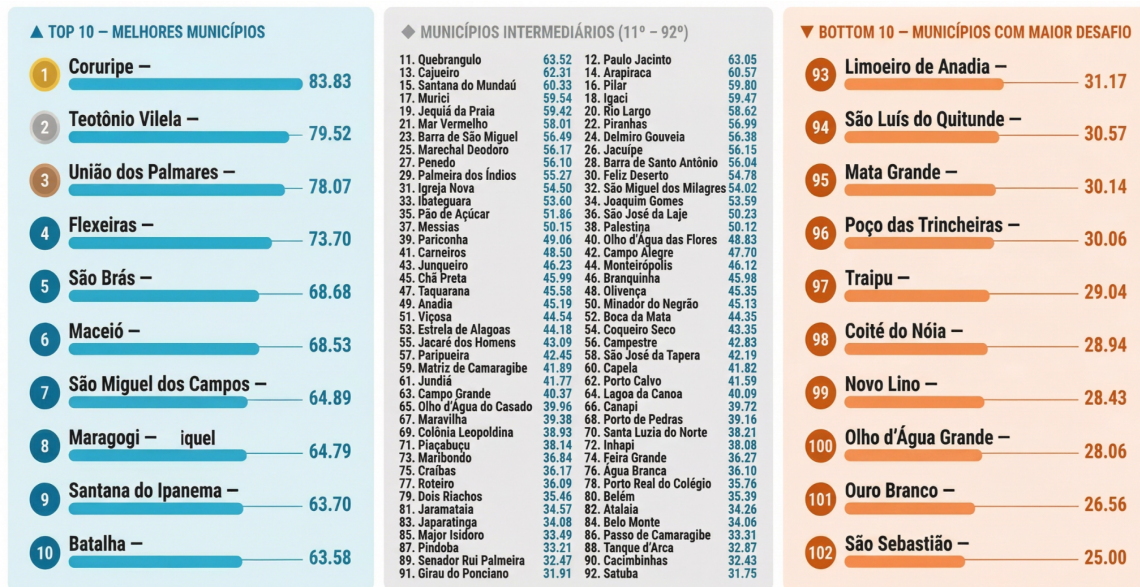


Fonte: elaboração própria a partir do IDSC-BR (2026).

ODS 6 – Saneamento: universalização e saltos estruturais

O ODS 6 é a dimensão mais desigual: Coruripe (83,83) está +37,39 pontos acima da média (46,44), seguido por Teotônio Vilela (79,52) e União dos Palmares (78,07). Na base, São Sebastião (25,00), Ouro Branco (26,56) e Olho d'Água Grande (28,06) estão entre os piores desempenhos médios, ainda que alguns apresentem variações positivas relevantes, compatíveis com a hipótese de “saltos” quando a base é muito baixa. A literatura reforça que déficits de saneamento se associam a custos sociais e de saúde evitáveis e que melhorias em infraestrutura podem gerar efeitos amplos sobre bem-estar e produtividade (Moreira et al., 2024; Dang; Serajuddin, 2020).

Figura 1(b) – Ranking ODS 6.

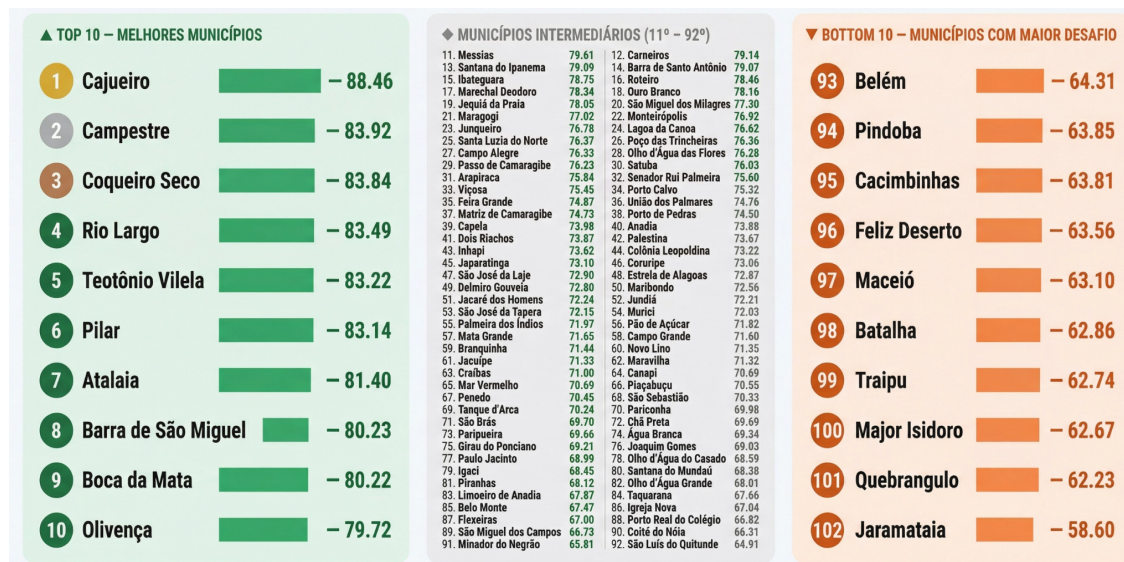


Fonte: elaboração própria a partir do IDSC-BR (2026).

ODS 13 – Ação Climática: excelência no topo, alerta na base

O ODS 13 apresenta maior média e menor dispersão agregada, mas ainda com casos relevantes na base. Cajueiro (88,46) lidera, seguido por Campestre (83,92) e Coqueiro Seco (83,84). No extremo inferior, Jaramataia (58,60), Quebrangulo (62,23) e Major Isidoro (62,67) explicitam heterogeneidades relevantes. A literatura de vulnerabilidade destaca que risco não é apenas exposição física: vulnerabilidade é potencial de perda mediado por condições sociais e capacidade de resposta (Cutter; Boruff; Shirley, 2003), o que reforça a necessidade de interpretar desempenho climático em conjunto com capacidades municipais.

Figura 1(c) – Ranking ODS 13.



Fonte: elaboração própria a partir do IDSC-BR (2026).

Sinergias, trade-offs e o Índice-Tríade

A interpretação do desempenho municipal integrado requer cautela porque índices compostos são instrumentos de síntese que ampliam comparabilidade, mas introduzem uma propriedade central: ao adotar agregação por média aritmética, o Índice-Tríade permite compensação entre dimensões. Assim, desempenho muito alto em um pilar pode elevar o escore agregado mesmo na presença de déficits substantivos em outro. Para reduzir esse risco interpretativo, este estudo combina o IT com uma medida de dispersão interna DP_i , que captura o grau de desequilíbrio entre ODS 4, ODS 6 e ODS 13 em cada município (Greco et al., 2019; Munda; Nardo, 2009).

A seguir, apresentam-se onze municípios selecionados para ilustrar como o Índice-Tríade (IT) deve ser interpretado em conjunto com a dispersão interna (DP): Teotônio Vilela, Coruripe, Maceió, Pilar, Rio Largo, Cajueiro, Ouro Branco, Feliz Deserto, São Luís do Quitunde, Olho d'Água Grande e Traipu. Esses municípios foram escolhidos por representarem perfis analíticos distintos, líderes em desempenho e equilíbrio, casos de gargalo crítico, a capital do estado, o maior equilíbrio em nível intermediário e os de menor performance geral, de modo a evidenciar a heterogeneidade subnacional existente em Alagoas. A tipologia completa é aplicada ao conjunto N=102 com base nos quartis de IT e DP.

Tabela 3 – Índice-Tríade (IT) e dispersão interna (DP) para municípios (média 2023–2025).

Município	ODS 4	ODS 6	ODS 13	IT (Média)	DP (Dispersão)	Perfil Analítico
Teotônio Vilela	65,27	79,52	83,22	76	9,48	Líder em Desempenho e Equilíbrio
Coruripe	59,28	83,83	73,06	72,06	12,31	2º Melhor Desempenho Geral
Maceió	43,87	68,53	63,1	58,5	12,96	Capital do Estado (Equilíbrio Alto)
Pilar	43,4	59,8	83,14	62,11	19,97	Desequilíbrio (Gargalo em ODS 4)
Rio Largo	41,28	58,62	83,49	61,13	21,22	Desequilíbrio (Gargalo em ODS 4)
Cajueiro	27,72	62,31	88,46	59,5	30,47	Maior Desequilíbrio (Gargalo Crítico em ODS 4)
Ouro Branco	39,93	78,16	26,56	48,22	26,78	Desequilíbrio (Gargalo Crítico em ODS 13)
Feliz Deserto	47,75	54,78	63,56	55,36	7,92	Maior Equilíbrio (Desempenho Intermediário)
São Luís do Quitunde	36,54	30,57	64,91	44,01	18,35	Desempenho Baixo com Desequilíbrio
Olho d'Água Grande	34,38	28,06	68,01	43,48	21,47	2º Pior Desempenho Geral
Traipu	31,54	29,04	62,74	41,11	18,78	Pior Desempenho Geral

Fonte: elaboração própria (2026).

Tabela 3 evidencia padrões empíricos distintos. No primeiro, o município apresenta IT elevado com baixa dispersão interna, caracterizando desempenho alto e balanceado entre dimensões. Teotônio Vilela (IT 76,00; DP 9,48) exemplifica esse perfil de excelência, liderando o ranking geral do estado, seguido por Coruripe (IT 72,06; DP 12,31), que se destaca sobretudo pelo desempenho em saneamento (ODS 6: 83,83). Maceió, capital do estado, posiciona-se em patamar de equilíbrio alto (IT 58,50; DP 12,96), com desempenho consistentemente superior à média estadual, embora sem figurar entre os líderes em nenhum dos indicadores isolados,

resultado que reflete as contradições estruturais de um centro urbano com capacidade institucional diferenciada, mas ainda marcado por desigualdades internas.

No segundo padrão, o IT pode assumir valores intermediários ou relativamente altos, mas com dispersão interna elevada, indicando que o escore agregado é sustentado por um ou dois pilares, coexistindo com um gargalo persistente. Cajueiro é o caso mais extremo: seu excelente desempenho climático (ODS 13: 88,46) eleva a média agregada (IT 59,50), mas convive com a mais severa deficiência educacional do estado (ODS 4: 27,72), resultando na maior dispersão entre todos os 102 municípios (DP 30,47). Pilar (IT 62,11; DP 19,97) e Rio Largo (IT 61,13; DP 21,22) reproduzem o mesmo padrão: desempenho climático robusto (ODS 13 acima de 83 pontos) coexistindo com fragilidade educacional (ODS 4 abaixo de 44 pontos). Ouro Branco (IT 48,22; DP 26,78) ilustra o inverso, com gargalo crítico no ODS 13 (26,56) que compromete seu bom desempenho em saneamento (ODS 6: 78,16). Esse conjunto de casos configura trade-offs municipais no sentido operacional, alto–baixo entre pilares no mesmo território, evidenciando que o IT médio pode mascarar vulnerabilidades setoriais relevantes quando analisado de forma isolada.

Em contraposição, Feliz Deserto (IT 55,36; DP 7,92) apresenta a menor dispersão entre todos os municípios analisados, caracterizando o perfil de maior equilíbrio interno em nível intermediário: sem excelência em nenhum ODS, mas sem gargalos críticos. Por fim, Traipu (IT 41,11; DP 18,78), Olho d'Água Grande (IT 43,48; DP 21,47) e São Luís do Quitunde (IT 44,01; DP 18,35) representam o extremo da vulnerabilidade multidimensional, combinando os menores Índices-Tríade do estado com desequilíbrios internos significativos, o que demanda políticas públicas integradas, capazes de atuar simultaneamente sobre as dimensões educacional, sanitária e climática.

A avaliação de sinergias e desacoplamentos entre dimensões foi conduzida por correlações de Pearson entre os escores médios do triênio 2023–2025, reportadas na Tabela 4. A interpretação segue a literatura de interações entre metas dos ODS, segundo a qual associações positivas e significativas podem ser lidas como indício de sinergia, enquanto associações próximas de zero sugerem desacoplamento, sem implicar causalidade (Pradhan et al., 2017)

Tabela 4 – Correlações de Pearson entre os ODS (média 2023–2025).

Par de ODS	Correlação (r)	p-valor	Interpretação
ODS 4 vs ODS 6	0,3838	< 0,001	Positiva moderada (sinergia estatística)
ODS 6 vs ODS 13	0,2164	0,031	Positiva fraca (sinergia fraca)
ODS 4 vs ODS 13	-0,0887	0,38	Praticamente nula (desacoplamento)

Fonte: elaboração própria a partir do IDSC-BR (2025).

Os resultados indicam correlação positiva moderada e altamente significativa entre ODS 4 e ODS 6, sugerindo co-movimento substantivo entre educação e saneamento no território alagoano. Em contraste, ODS 6 e ODS 13 exibem correlação positiva fraca, enquanto ODS 4 e ODS 13 apresentam associação praticamente nula e não significativa. Em termos interpretativos, a sinergia ODS 4–ODS 6 é plausível por mecanismos cumulativos: condições sanitárias adequadas reduzem morbidades evitáveis, aumentam frequência escolar e melhoram o ambiente domiciliar de aprendizagem, enquanto maior escolaridade pode elevar demanda social por infraestrutura e qualidade do serviço público.

Embora a análise não permita inferência causal, o padrão é compatível com evidências para o Brasil em escala municipal (Moreira et al., 2024). Já o desacoplamento entre ODS 4 e ODS 13 reforça que desempenho climático pode variar de forma relativamente autônoma em relação a dimensões sociais, consistente com abordagens que tratam vulnerabilidade como mediada por condições sociais e capacidade institucional (Cutter; Boruff; Shirley, 2003).

Tipologia municipal baseada exclusivamente em quartis

Para traduzir o Índice-Tríade (IT) em perfis interpretáveis e comparáveis, a tipologia municipal foi construída exclusivamente a partir de quartis do desempenho agregado (IT) e do desequilíbrio interdimensional (DP interno entre ODS 4, 6 e 13), calculados para os 102 municípios. Os pontos de corte foram: $IT\ P25=48,95$ e $P75=56,68$; $DP\ P25=12$ e $P75=17,50$. Com base nesses limiares, definiram-se três classes:

1. Alto equilíbrio: municípios com $IT \geq P75 (56,68)$ e $DP \leq P25 (12,63)$, caracterizando desempenho agregado alto com baixa assimetria entre os três pilares e menor risco de interpretação compensatória do índice.
2. Desequilíbrio por gargalo: municípios com $IT \geq P75 (56,68)$ e $DP \geq P75 (17,50)$, indicando desempenho agregado alto, porém com assimetria elevada entre componentes, típica de um pilar que limita o desempenho integrado e exige priorização focalizada.
3. Vulnerabilidade crítica: municípios com $IT \leq P25 (48,95)$, sinalizando baixo desempenho integrado na tríade e necessidade de coordenação intersetorial e reforço institucional para elevar simultaneamente capacidades educacionais, infraestrutura ambiental básica e preparação/vulnerabilidade climática.

Para os municípios classificados como desequilíbrio por gargalo, o gargalo dominante foi identificado como o pilar com menor score médio no triênio (mínimo entre ODS 4, ODS 6 e ODS 13), permitindo traduzir a tipologia em prioridade de intervenção diretamente acionável.

CONCLUSÃO

Este estudo enfrentou o problema de como se distribuem, em Alagoas, as desigualdades no cumprimento da Agenda 2030 ao integrar Educação–Água–Clima, com o objetivo de construir e analisar o Índice-Tríade (ODS 4, 6 e 13) e explicitar sinergias, desacoplamentos, trade-offs e uma tipologia municipal orientada à política pública. Os resultados confirmam contrastes estruturais: melhor desempenho médio e menor dispersão no ODS 13, forte heterogeneidade no ODS 6 e gargalo persistente no ODS 4. Além disso, a leitura do IT acompanhada da dispersão interna DP_i reduz interpretações compensatórias, distinguindo alto equilíbrio (como Teotônio Vilela) de perfis de desequilíbrio por gargalo (como Cajueiro, com gargalo educacional) e vulnerabilidade crítica (IT no quartil inferior).

As correlações reforçam que a resposta à pergunta de pesquisa passa por uma sinergia estatística robusta ODS 4–ODS 6, uma associação fraca ODS 6–ODS 13 e um desacoplamento entre ODS 4 e ODS 13, indicando que ação climática não é subproduto automático do desempenho social. Como contribuição, o artigo entrega um instrumento replicável de triagem territorial (ranking + tipologia por quartis) que traduz interdependências em prioridades: integrar educação e saneamento como núcleo decisório onde há sinergia e tratar clima como dimensão parcialmente autônoma de governança, exigindo continuidade institucional.

As limitações decorrem do recorte 2023–2025, do uso das pontuações do IDSC-BR e de associações observacionais (sem inferência causal), além do foco em três ODS e de uma agregação por média com potencial de compensação. Pesquisas futuras podem estender a

janela temporal, testar agregações menos compensatórias e empregar desenhos analíticos capazes de investigar mecanismos (e não apenas co-movimentos) por trás dos trade-offs municipais observados. Em síntese, a efetividade local da Agenda 2030, em Alagoas, exige diagnóstico integrado e priorização por perfis: avançar onde há sinergia (educação–saneamento) e proteger onde há autonomia e reversibilidade institucional (clima).

REFERÊNCIAS

Allen, C.; Metternicht, G.; Wiedmann, T. Initial progress in implementing the Sustainable Development Goals (SDGs): a review of evidence from countries. **Sustainability Science**, v. 13, n. 5, p. 1453-1467, 2018. DOI: 10.1007/s11625-018-0572-3.

Bennich, T.; Persson, A.; Beaussart, R.; et al. Recurring patterns of SDG interlinkages and how they can advance the 2030 Agenda. **One Earth**, v. 6, n. 11, p. 1465-1476, 2023. DOI: 10.1016/j.oneear.2023.10.008.

Biermann, F.; et al. Governance through Global Goals. In: Biermann, F.; Kim, R. E. (org.). **Architectures of Earth System Governance: Institutional Complexity and Structural Transformation**. Cambridge: Cambridge University Press, 2020. p. 254-274. DOI: 10.1017/9781108784641.012.

Blancas, F. J.; Contreras, I. Global SDG composite indicator: A new methodological proposal that combines compensatory and non-compensatory aggregations. **Sustainable Development**, v. 33, n. 1, p. 158-176, 2025. DOI: 10.1002/sd.3109.

Choi, H. I. Assessment of aggregation frameworks for composite indicators in measuring flood vulnerability to climate change. **Scientific Reports**, v. 9, art. 19371, 2019. DOI: 10.1038/s41598-019-55994-y.

Clement, J.; Ruyschaert, B.; Crutzen, N. Smart city strategies: A driver for the localization of the sustainable development goals? **Ecological Economics**, v. 213, 2023. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2023.107941.

Cutter, S. L.; Boruff, B. J.; Shirley, W. L. Social vulnerability to environmental hazards. **Social Science Quarterly**, v. 84, n. 2, p. 242-261, 2003. DOI: 10.1111/1540-6237.8402002.

Dang, H.-A. H.; Serajuddin, U. Tracking the Sustainable Development Goals: emerging measurement challenges and further reflections. **World Development**, v. 127, art. 104570, 2020. DOI: 10.1016/j.worlddev.2019.05.024.

Fukuda-Parr, S.; McNeill, D. Knowledge and Politics in Setting and Measuring the SDGs: Introduction to Special Issue. **Global Policy**, v. 10, supl. 1, p. 5-15, 2019. DOI: 10.1111/1758-5899.12604.

Greco, S.; Ishizaka, A.; Tremblay, J.-F.; et al. On the methodological framework of composite indices: A review of the issues of weighting, aggregation and robustness. **Social Indicators Research**, v. 141, n. 1, p. 61-94, 2019. DOI: 10.1007/s11205-017-1832-9.

Guo, M.; et al. Normal workflow and key strategies for data cleaning toward real-world data: Viewpoint. **Interactive Journal of Medical Research**, v. 12, e44310, 2023. DOI: 10.2196/44310.

Hanushek, E. A.; Woessmann, L. The role of cognitive skills in economic development. **Journal of Economic Literature**, v. 46, n. 3, p. 607-668, 2008. DOI: 10.1257/jel.46.3.607.

Hegre, H.; Petrova, K.; Von Uexkull, N. Synergies and trade-offs in reaching the Sustainable Development Goals. **Sustainability**, v. 12, n. 20, art. 8729, 2020. DOI: 10.3390/su12208729.

Instituto Cidades Sustentáveis; Sustainable Development Solutions Network (SDSN). **O Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades Brasil (IDSC-BR)**. São Paulo; Paris: Instituto Cidades Sustentáveis, SDSN, 2021. Acesso em: 14 fev. 2026.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2022.

Jacob, B. A.; Rothstein, J. The measurement of student ability in modern assessment systems. **Journal of Economic Perspectives**, v. 30, n. 3, p. 85-108, 2016. DOI: 10.1257/jep.30.3.85.

Kates, R. W.; Clark, W. C.; Corell, R.; et al. Environment and development: Sustainability science. **Science**, v. 292, n. 5517, p. 641-642, 2001. DOI: 10.1126/science.1059386.

Kelemen, A.; et al. A sensitivity analysis of composite indicators: Min/max thresholds. **Environmental and Sustainability Indicators**, v. 23, art. 100453, 2024. DOI: 10.1016/j.indic.2024.100453.

Kostetckaia, M.; Hametner, M. How Sustainable Development Goals interlinkages influence European Union countries' progress towards the 2030 Agenda. **Sustainable Development**, v. 30, n. 5, p. 916-926, 2022. DOI: 10.1002/sd.2290.

Kroll, C.; Warchold, A.; Pradhan, P. Sustainable Development Goals (SDGs): Are we successful in turning trade-offs into synergies? **Humanities and Social Sciences Communications**, v. 5, p. 1-11, 2019. DOI: 10.1057/s41599-019-0335-5.

Kuc-Czarnecka, M.; Markowicz, I.; Sompolska-Rzechuła, A. SDGs implementation, their synergies, and trade-offs in EU countries: Sensitivity analysis-based approach. **Ecological Indicators**, v. 146, art. 109888, 2023. DOI: 10.1016/j.ecolind.2023.109888.

Leavesley, A.; Trundle, A.; Oke, C. Cities and the SDGs: Realities and possibilities of local engagement in global frameworks. **Ambio**, v. 51, p. 1416-1432, 2022. DOI: 10.1007/s13280-022-01714-2.

Li, S.; et al. Localizing urban SDGs indicators for an integrated assessment of urban sustainability: a case study of Hainan province. **International Journal of Digital Earth**, 2024. DOI: 10.1080/17538947.2024.2336059.

Ma, L.; et al. Divergent development trajectories of nations in achieving the Sustainable Development Goals. **Nature Communications**, v. 16, art. 1, 2025. DOI: 10.1038/s41467-025-56076-6.

Mangukiya, R. D.; Sklarew, D. M. Analyzing three pillars of sustainable development goals at sub-national scales within the USA. **World Development Sustainability**, v. 2, art. 100058, 2023. DOI: 10.1016/j.wds.2023.100058.

Mazziotta, M.; Pareto, A. Normalization methods for spatio-temporal analysis of environmental performance: Revisiting the Min-Max method. **Environmetrics**, v. 33, n. 5, e2730, 2022. DOI: 10.1002/env.2730.

Miola, A.; Schiltz, F. Measuring sustainable development goals performance: How to monitor policy action in the 2030 Agenda implementation? **Ecological Economics**, v. 164, art. 106373, 2019. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2019.106373.

Monteiro Neto, A. Desigualdades regionais no Brasil: características e tendências recentes. **Boletim Regional, Urbano e Ambiental**, n. 9, p. 67-82, 2014.

Moreira, J. S. S.; Azzoni, C. R.; Menezes-Filho, N. A. Sanitation conditions and education outcomes in Brazilian municipalities. **Sustainable Development**, v. 32, n. 3, p. 1987-2000, 2024. DOI: 10.1002/sd.2754.

Munda, G.; Nardo, M. Non-compensatory composite indicators for ranking countries: A defensible setting. **Applied Economics**, v. 41, n. 12, p. 1513-1523, 2009. DOI: 10.1080/00036840601019364.

Nardo, M.; et al. **Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide**. Paris: OECD; European Commission Joint Research Centre, 2005.

Nilsson, M.; Griggs, D.; Visbeck, M. Policy: Map the interactions between Sustainable Development Goals. **Nature**, v. 534, n. 7607, p. 320-322, 2016. DOI: 10.1038/534320a.

OECD. **A territorial approach to the Sustainable Development Goals**. Paris: OECD Publishing, 2020.

OECD; Sustainable Development Solutions Network (SDSN); European Committee of the Regions (COR). **Localising the SDGs in a changing landscape**. Paris: OECD Publishing, 2024.

Organização das Nações Unidas (ONU). **Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development**. Resolução A/RES/70/1, 21 out. 2015. Disponível em: <https://www.refworld.org/legal/resolution/unga/2015/en/111816>. Acesso em: 4 abr. 2026.

Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD). **Relatório do Desenvolvimento Humano 2025: Uma questão de escolha: pessoas e possibilidades na era da IA**. Nova Iorque: PNUD, 2025.

Perry, B.; Diprose, K.; Buck, N.; Simon, D. Localizing the SDGs in England: Challenges and value propositions for local government. **Frontiers in Sustainable Cities**, v. 3, 2021. DOI: 10.3389/frsc.2021.746337.

Pradhan, P. Antagonists to meeting the 2030 Agenda. **Nature Sustainability**, v. 2, p. 171-172, 2019. DOI: 10.1038/s41893-019-0248-8.

Pradhan, P.; Costa, L.; Rybski, D.; Kropp, J. P. A systematic study of Sustainable Development Goal (SDG) interactions. **Earth's Future**, v. 5, n. 11, p. 1169-1179, 2017. DOI: 10.1002/2017EF000632.

Reddy, P. S. Localising the sustainable development goals (SDGs): the role of local government in context. **African Journal of Public Affairs**, v. 9, n. 2, p. 1-15, 2016.

Sachs, J. D. From millennium development goals to sustainable development goals. **The Lancet**, v. 379, n. 9832, p. 2206-2211, 2020. DOI: 10.1016/S0140-6736(12)60685-0.

Sachs, J. D.; et al. **Sustainable Development Report 2020: The Sustainable Development Goals and COVID-19**. Cambridge: Cambridge University Press, 2020. DOI: 10.1017/9781108992411.

Saisana, M.; Saltelli, A.; Tarantola, S. Uncertainty and sensitivity analysis techniques as tools for the quality assessment of composite indicators. **Journal of the Royal Statistical Society: Series A**, v. 168, n. 2, p. 307-323, 2005. DOI: 10.1111/j.1467-985X.2005.00350.x.

Scarpellini, S.; Marín-Vinuesa, L. M.; Aranda-Usón, A.; Portillo-Tarragona, P. Dynamic capabilities and environmental accounting for the circular economy in businesses. **Sustainability Accounting, Management and Policy Journal**, v. 11, n. 7, p. 1129-1158, 2020. DOI: 10.1108/SAMPJ-04-2019-0150.

Schmidt-Traub, G.; Kroll, C.; Teksoz, K.; Durand-Delacré, D.; Sachs, J. D. National baselines for the Sustainable Development Goals assessed in the SDG Index and Dashboards. **Nature Geoscience**, v. 10, p. 547-555, 2021. DOI: 10.1038/ngeo2985.

Scriptore, J. S.; Azzoni, C. R. A spatial estimation of the impacts of sanitation on education. **Regional Science Policy & Practice**, v. 12, n. 1, p. 159-166, 2020. DOI: 10.1111/rsp3.12136.

Silva, V. T. **A logística reversa de embalagens plásticas de óleos lubrificantes no estado de Alagoas**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2024.

Soares, J. G.; Lima, C. A. de; Junkes, J. A. Desafios da universalização do saneamento em Alagoas: impactos do novo marco legal na infraestrutura básica. **Revista Políticas Públicas & Cidades**, v. 14, n. 6, e2384, 2025. DOI: 10.23900/2359-1552v14n6-34-2025.

Talukder, B.; et al. Developing composite indicators for agricultural sustainability assessment: Effect of normalization and aggregation techniques. **Resources**, v. 6, n. 4, art. 66, 2017. DOI: 10.3390/resources6040066.

UNICEF. **WASH in schools**. 2024. Disponível em: <https://data.unicef.org/topic/water-and-sanitation/wash-in-schools/>. Acesso em: 17 fev. 2026.

UNDP. **Challenges in reporting progress on the 2030 Agenda at local levels**. New York: UNDP, 2023. Acesso em: 14 fev. 2026.

van Zanten, J. A.; van Tulder, R. Towards nexus-based governance: defining interactions between economic activities and Sustainable Development Goals (SDGs). **International Journal of Sustainable Development & World Ecology**, v. 28, n. 3, p. 210-226, 2021. DOI: 10.1080/13504509.2020.1768452.

Xiao, H.; Liu, Y.; Ren, J. Synergies and trade-offs across sustainable development goals: A novel method incorporating indirect interactions analysis. **Sustainable Development**, v. 31, n. 2, p. 1135-1148, 2023. DOI: 10.1002/sd.2446.

Zhou, P.; Ang, B. W.; Poh, K. L. Comparing aggregating methods for constructing the composite environmental index: An objective measure. **Ecological Economics**, v. 59, n. 3, p. 305-311, 2006. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2005.10.018.

Zhou, P.; et al. Data aggregation in constructing composite indicators: A perspective of information loss. **Expert Systems with Applications**, v. 37, p. 360-365, 2010. DOI: 10.1016/j.eswa.2009.05.039.