XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8570

Indicadores ambientais aplicados à análise por fases construtivas com ferramenta BI

Environmental indicators applied to construction phase analysis with a BI tool

Ornela Isbela Silva Zierz
Universidade de Pernambuco | Recife | Brasil | oisz@poli.br
Alberto Casado Lordsleem Junior
Universidade de Pernambuco | Recife | Brasil | acasado@poli.br
Aristóteles Vinícius Souza de Andrade
Universidade de Pernambuco | Recife | Brasil | avsa@poli.br

Resumo

Este trabalho objetiva analisar indicadores ambientais em 62 obras residenciais em diferentes fases no Nordeste brasileiro, em 2025. A metodologia utilizou a coleta mensal dos dados de geração de resíduos, consumo de água e energia por fase construtiva, posteriormente normalizados pela área construída para composição dos indicadores ambientais. Os resultados indicam médias de 0,36 m³/m² para água, 9,43 kWh/m² para energia e 0,08 m³/m² para resíduo. A análise por fase revelou picos na fase de acabamento em todos os indicadores. O consumo de energia atingiu seu pico em 13,08 kWh/m², superando limites da literatura. Já o consumo de água obteve 0,58 m³/m², associado à quantidade elevada de atividades realizadas envolvendo preparo de argamassas. A geração de resíduo com 0,12 m³/m², onde há o período de maior volume de geração de resíduo inerente ao processo adotado. Os resultados demonstram que a avaliação detalhada ao longo das fases construtivas permite identificar pontos do processo produtivo que não são perceptíveis em análises globais, permitindo uma gestão mais direcionada dos processos construtivos e a implementação de ações práticas voltadas à redução de impactos ambientais.

Palavras-chave: Indicadores Ambientais. Construção Civil. Sustentabilidade. *Business Intelligence.*

Abstract

This study aims to analyze environmental indicators in 62 residential construction projects at different phases in Northeast Brazil in 2025. The methodology involved monthly data collection on waste generation and water and energy consumption per construction phase, subsequently normalized by the built area to compose the environmental indicators. The results indicate averages of 0.36 m³/m² for water, 9.43 kWh/m² for energy, and 0.08 m³/m² for waste. The phase-based analysis revealed peaks in the finishing phase across all three indicators: energy consumption reached 13.08 kWh/m², exceeding limits reported in the literature; water consumption reached 0.58 m³/m², associated with the high volume of activities involving mortar preparation; and waste generation reached 0.12 m³/m², reflecting the greater material turnover inherent to this stage. The results demonstrate that detailed phase-level evaluation enables the identification of critical points in the production process that are not apparent in global analyses, enabling more targeted management of construction processes and the implementation of practical measures aimed at reducing environmental impacts.

Keywords: Environmental Indicators. Civil Industry. Sustainability. Business Intelligence.

Como citar:
ZIERZ, O. I. S.; LORDSLEEM JÚNIOR, A. C.; ANDRADE, A. V. S.. Indicadores ambientais aplicados à análise por fases construtivas com ferramenta BI. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 21, 2026, Goiânia. **Anais**... Goiânia: ANTAC, 2026.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8570

INTRODUÇÃO

Estabelecer e monitorar indicadores ambientais no âmbito da construção civil, no que tange à geração de resíduo, consumo de água e energia assume grande relevância no contexto da sustentabilidade urbana contemporânea. A gestão eficiente dos recursos e resíduos na construção civil torna-se essencial não apenas para a preservação ambiental, mas também para o cumprimento dos compromissos estabelecidos pela Agenda 2030 das Nações Unidas [1].

A Agenda 2030, composta por 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), destaca a urgência de ações concretas para abordar desafios globais como a mudança climática, escassez de recursos e degradação ambiental [2,3]. Dentro desse contexto, os ODS 6 (Água Limpa e Saneamento), 7 (Energia Acessível e Limpa) e 12 (Consumo e Produção Sustentáveis) são particularmente alguns dos objetivos pertinentes para a indústria da construção civil [1].

O Objetivo 6 procura garantir acesso à água potável e saneamento básico, porém, apenas cerca de 84% da população brasileira desfruta desse acesso, abaixo da meta estipulada para 2030 [4,5]. Além disso, trazendo uma visão global, cerca de 40% da população global enfrenta grave falta de água em certos períodos anuais [6,7].

Por sua vez, o ODS 7 promove o acesso universal a uma energia confiável, sustentável e acessível, enquanto enfatiza a necessidade de metas para a transição energética, visando eliminar o uso de fontes poluentes e não renováveis. Também destaca a importância de atender às necessidades específicas de indivíduos e nações em situações de vulnerabilidade [8].

Enfim, o ODS 12 aborda a questão da reciclagem, o cenário no Brasil é preocupante. Cerca de 60% dos resíduos sólidos encontrados nos núcleos urbanos brasileiros são provenientes da indústria da construção, e aproximadamente um quarto dos desperdícios são gerados durante suas atividades construtivas [9].

De acordo com Rocha [10], o setor de construção civil é amplamente prejudicial ao meio ambiente, com impactos ambientais em todas as etapas de sua cadeia produtiva: desde a extração de matérias-primas, como agregados e madeira, até a fabricação de materiais de construção, como o cimento. Isso acarreta prejuízos econômicos devido ao descarte inadequado, além de desperdiçar oportunidades de emprego, serviços e produtos [11].

A implementação de indicadores que monitorem o volume de resíduos gerados, juntamente com práticas de reciclagem e reutilização, é fundamental para atingir as metas de desenvolvimento sustentável. Da mesma forma, estratégias para reduzir o consumo de água e energia ao longo de todas as etapas do processo construtivo são cruciais para promover a eficiência e sustentabilidade. Além disso, ao incorporar indicadores ambientais na construção civil, governos, empresas e comunidades podem acompanhar o progresso em direção às metas da Agenda 2030. Essa abordagem promove a responsabilidade ambiental, estimula a inovação e a adoção de práticas mais sustentáveis em toda a cadeia de valor da construção civil. Assim, ao integrar

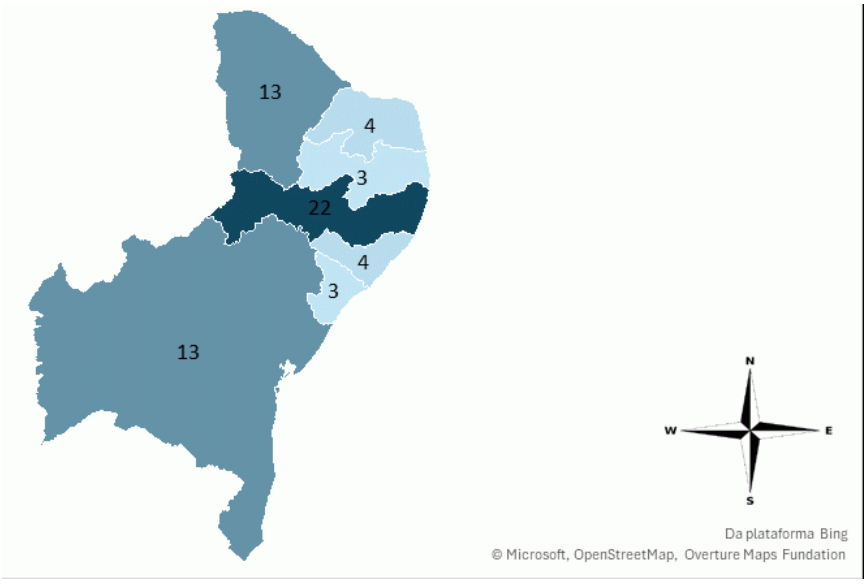
esses indicadores, pode-se avançar em direção a um futuro mais sustentável e resiliente para as gerações futuras.

Portanto, o artigo objetiva caracterizar e analisar os indicadores sustentáveis no que diz respeito ao consumo de água e energia, bem como a geração de resíduos, em empreendimentos em fase de construção no Nordeste. Estes indicadores são imprescindíveis para que as construções estejam conforme o conceito e requisitos para se tornar cidades com a inserção de construções inteligentes no que se refere ao avanço sustentável.

METODOLOGIA

Foram analisadas 62 obras de edifícios residenciais de médio a alto padrão, caracterizadas por unidades privativas personalizadas e projetos de empreendimentos únicos, utilizadas como objeto no estudo de caso, distribuídas em sete estados distintos localizados no Nordeste do Brasil, como é evidenciado na Figura 1. As obras estão sob responsabilidade de uma construtora de grande porte, certificada pelo Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat (PBQP-H), nível A, e pela norma ISO 9001, com um sistema de gestão da qualidade implementado há mais de 25 anos.

Figura 1: Localização das obras por estado no Nordeste do Brasil

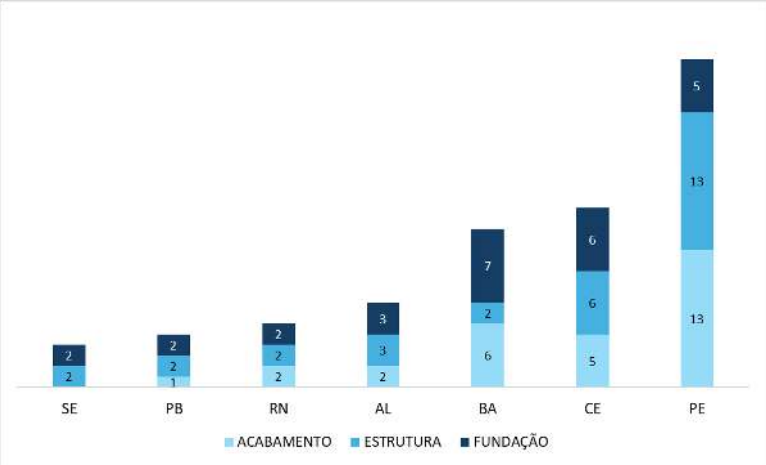


Fonte: o autor.

Na Figura 2, é possível verificar a distribuição do quantitativo de obras abordado neste presente estudo, como também a análise por fase e por Estado. Ao todo, totalizam-se 27 obras na fase de fundação, 30 em estrutura e 29 em acabamento, considerando as fases das obras durante os 12 meses do ano.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8570

Figura 2: Quantidade de cada uma das fases das obras por estado



Fonte: o autor.

COLETA DE DADOS

A coleta de dados do estudo de caso foi realizada por meio de planilhas preenchidas mensalmente e de forma individualizada por obra, contemplando os insumos água, energia e resíduo.

Para o indicador água, registrou-se o volume consumido em m³ proveniente de três possíveis fontes: concessionária (a partir das faturas mensais), caminhão-pipa (com base em pedidos, notas fiscais ou recibos) e poço artesiano (por leitura de hidrômetro), sendo o total calculado automaticamente pela soma dessas origens.

No indicador energia, foram inseridos os dados de consumo em kWh fornecidos pela concessionária, conforme fatura mensal, e a quantidade de combustível em litros utilizada em geradores, obtida por meio de documentos do fornecedor com sua conversão automática de litros para kWh, somando o total consumido.

Já para o indicador resíduo, registraram-se informações vinculadas ao transporte e destinação dos resíduos, incluindo número do MTR emitido no SINIR ou IMA, placa do veículo, empresa transportadora responsável e a quantidade destinada em toneladas, conforme comprovantes de recebimento.

Para contabilizar o avanço físico de cada obra, utiliza-se uma planilha preenchida mensalmente com base na medição física realizada, adotando-se a área construída em m² como referência. O avanço físico corresponde ao percentual executado em relação ao total previsto em projeto, permitindo acompanhar a evolução real dos serviços. Esse dado é utilizado como parâmetro para normalizar os indicadores, possibilitando análises comparativas entre obras e entre diferentes fases construtivas.

GERAÇÃO DOS INDICADORES

Para realizar o cálculo do indicador, foi adotada a seguinte metodologia, conforme observado nas Equações 1, 2 e 3.

$$\text{Indicador de água} = \frac{\text{Total Consumo do mês } (m^3)}{\text{Avanço físico do mês } (m^2)} :: (m^3/m^2) \qquad \text{(Equação 1)}$$

$$\text{Indicador de energia} = \frac{\text{Total Consumo do mês (kwh)}}{\text{Avanço físico do mês } (m^2)} :: (KWh/m^2) \quad \text{(Equação 2)}$$

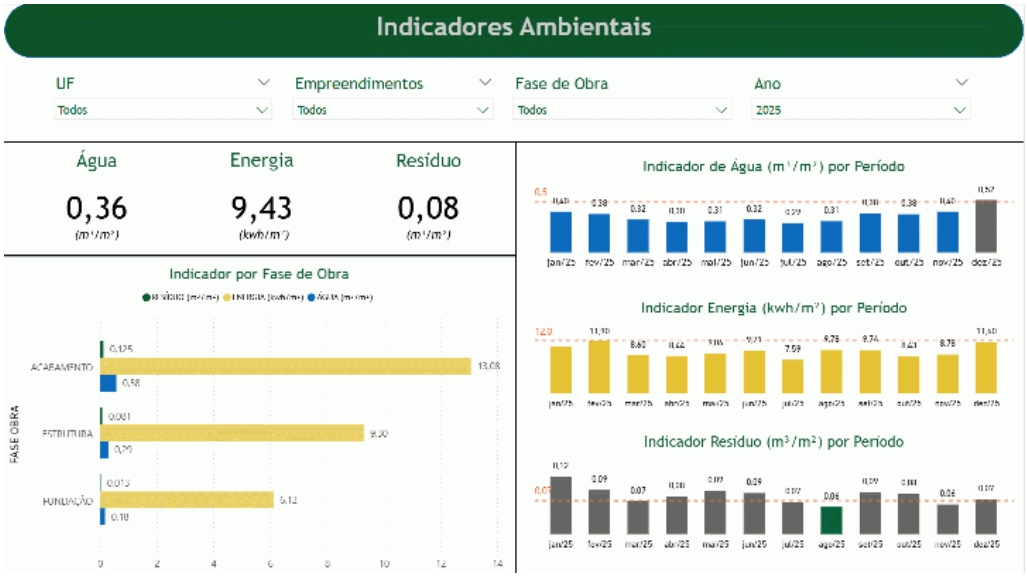
$$\text{Indicador de resíduo} = \frac{\text{Quantidade gerada no mês } (m^3)}{\text{Avanço físico do mês } (m^2)} :: (m^3/m^2) \quad \text{(Equação 3)}$$

Adotou-se uma metodologia de cálculo baseada na relação entre os dados mensais de consumo de insumos e o avanço físico apurado no mesmo período, utilizando a área construída executada (m²) como referência de normalização. Os indicadores foram obtidos pela razão entre o total consumido no mês e o avanço físico correspondente, resultando em métricas expressas em m³/m² para água, kWh/m² para energia e m³/m² para resíduo. Dessa forma, o consumo mensal de água é dividido pelo avanço físico do mês, assim como o consumo mensal de energia e a quantidade mensal de resíduo destinada. A padronização desse cálculo contribui para reduzir distorções associadas às diferenças dimensionais dos empreendimentos, assegurando maior consistência analítica e confiabilidade na avaliação do desempenho ambiental das obras ao longo do tempo.

RESULTADOS

A leitura dos dados das 62 obras no Microsoft Power BI apontou médias globais de 0,36 m³/m² para água, 9,43 kWh/m² para energia e 0,08 m³/m² para resíduos, conforme Figura 3. Quando observados apenas de forma agregada, esses valores sugerem um comportamento ambiental uniforme. No entanto, ao separar os resultados por fase de obra, surgem diferenças importantes que não aparecem na média geral.

Figura 3: Indicadores Ambientais na Ferramenta BI



Fonte: o autor.

INDICADOR DE ENERGIA

Para energia, os indicadores obtidos foram 6,12 kWh/m² na fase de Fundação, 9,30 kWh/m² na de Estrutura e 13,08 kWh/m² na de Acabamento, revelando crescimento progressivo ao longo do ciclo construtivo. Esse padrão reflete o aumento gradual da

densidade de atividades, do número de equipes em canteiro e da diversidade de equipamentos elétricos em operação simultânea.

A Tabela 1 permite comparar o resultado do estudo com diferentes referenciais da literatura.

Tabela 1: Indicador de Energia

Fase de Obra/Parâmetros em kWh/m²	Indicadores	[12]	[13]	[14]	[15]
Fundação	6,12	12,03	2,26		10,54
Estrutura	9,30	-	7,11	11,58	8,45
Acabamento	13,08	37,28	9,93		10,49

Fonte: o autor.

Na fase de fundação, o indicador não apresentou tendência consistente em relação aos referenciais, variação associada ao tipo de solução adotada, predominantemente estaca metálica, pré-moldada e hélice contínua, ao grau de mecanização e ao tempo de permanência no canteiro, com média de seis meses. O consumo de diesel dos geradores responsáveis pelo funcionamento das perfuratrizes e bate estaca foi convertido em energia elétrica equivalente pelo fator de 0,48 kWh/L, conforme especificações técnicas dos equipamentos. O tipo de fundação adotado nos estudos de referência não foi identificado, o que limita a comparação direta entre os valores. Na estrutura, o comportamento do indicador reflete o método construtivo empregado e a produtividade das equipes, já que o uso contínuo de equipamentos elétricos torna o consumo sensível ao ritmo de produção.

O acabamento apresenta o maior afastamento em relação aos estudos consultados. Nessa fase, o consumo passa a ser fortemente influenciado pela simultaneidade de frentes, pelo uso intermitente de diversas ferramentas elétricas e pelo consumo indireto necessário ao funcionamento do canteiro.

De modo geral, os valores encontrados se aproximam mais da literatura na fase de estrutura, enquanto a fundação e o acabamento se destacam como as etapas de maior exigência quanto ao controle do uso de energia. Uma vez que, o baixo avanço físico também ocasiona um aumento no indicador.

INDICADOR DE ÁGUA

A Tabela 2 reúne os resultados por fase, 0,18 m³/m² na fundação, 0,29 m³/m² na estrutura e 0,58 m³/m² no acabamento.

Tabela 2: Indicador de Água

Fase de Obra/Parâmetros em m³/m²	Indicador	[12]	[14]	[15]	[16]	[17]
Fundação	0,18			0,39		0,25
Estrutura	0,29		0,35	0,34		0,25
Acabamento	0,58	0,42		1,36	0,45	

Fonte: o autor.

Na fundação, o valor obtido condiz com o perfil das atividades executadas, que demandam pouca utilização direta de água. Na estrutura, o indicador tende a apresentar comportamento mais padronizado entre diferentes obras, já que o uso de água se concentra em momentos específicos, como nas etapas ligadas ao concreto. Já

no acabamento, percebe-se maior divergência quando comparado a outros referenciais. A execução simultânea de vários serviços que utilizam água de forma contínua e por períodos mais longos contribui para o aumento do consumo nessa fase. Dessa forma, a convergência com a literatura é mais evidente.

INDICADOR DE RESÍDUO

Os indicadores por fase foram 0,013 m³/m² (fundação), 0,081 m³/m² (estrutura) e 0,12 m³/m² (acabamento), com crescimento progressivo acompanhando o aumento do volume e da diversidade de atividades ao longo do ciclo construtivo, conforme Tabela 3. Ressalta-se que o indicador da fase de acabamento pode estar influenciado pela remoção de resíduos gerados em etapas anteriores, o que representa uma limitação a ser considerada na interpretação desse indicador.

Tabela 3: Indicador de Resíduo

Fase de Obra/Parâmetros em m³/m²	Indicadores	[12]	[14]	[15]	[18]
Fundação	0,013	0,14		0,02	
Estrutura	0,081		0,25	0,13	
Acabamento	0,12	1,78		0,07	0,12-0,22

Fonte: o autor.

O valor mais alto aparece no Acabamento, fase em que diferentes serviços acontecem ao mesmo tempo e aumentam a quantidade de sobras, embalagens e materiais descartados. Nesse momento, a geração passa a depender menos do processo principal e mais da variedade de atividades em curso. Na estrutura, o volume gerado está ligado às perdas típicas do uso de concreto, aço e madeira para formas. O controle de estoque, cortes e reaproveitamentos passa a ter influência direta no indicador. A fundação apresenta o menor resultado, compatível com uma etapa em que predominam escavações e movimentação de terra, cujos resíduos, embora classificados como resíduos de construção civil, tendem a ser reaproveitados in loco, reduzindo o volume destinado externamente.

Observa-se, de modo geral, maior semelhança com a literatura.

INDICADORES X PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS

A comparação mostra que a análise apenas pelas médias pode esconder diferenças relevantes entre as fases. Embora os valores globais indiquem desempenho satisfatório, a separação dos dados revela que os três indicadores atingem seus maiores valores no acabamento, comportamento explicado pela maior diversidade e simultaneidade de atividades, pelo uso intensivo de equipamentos elétricos, pela elevada demanda de água para argamassas, revestimentos e limpeza geral, e pela geração acentuada de resíduos agravada pela desmobilização do canteiro e pela mobilização para entrega da obra. Há ainda pouca literatura que trate indicadores ambientais por fase, o que limita comparações diretas. Mesmo assim, observa-se que o indicador de energia ficou acima de parte dos referenciais, enquanto água e resíduos mantiveram maior alinhamento, inclusive nas etapas mais intensas.

O melhor desempenho observado nos três indicadores está associado a práticas adotadas nos canteiros que apresentaram indicadores inferiores à média como também por Oliveira *et al.* [18]. Para água, destacam-se o reaproveitamento de água pluvial e reuso de águas cinzas. Para resíduos, a segregação de resíduos em baias e bombonas, e reaproveitamento de concreto e argamassa em instalações provisórias. Quanto à energia, o uso de lâmpadas LED e hábitos de consumo racional contribuem para consumos responsáveis refletidos nos indicadores mais controlados. Treinamentos frequentes das equipes também contribuem para o uso mais consciente dos recursos.

CONCLUSÃO

A análise dos indicadores ambientais de 62 obras residenciais, por meio de ferramenta BI e organizada por fase construtiva, demonstrou que a avaliação agregada é insuficiente para caracterizar o desempenho ambiental ao longo do ciclo de obra, uma vez que as médias globais ocultam variações expressivas entre as etapas.

O consumo de energia apresentou crescimento progressivo de 6,12 kWh/m² (fundação), 9,30 kWh/m² (estrutura) e 13,08 kWh/m² (acabamento), com a fase final superando os limites máximos reportados na literatura, evidenciando a necessidade de estratégias específicas de controle energético no acabamento. Os indicadores de água, 0,18, 0,29 e 0,58 m³/m², e de resíduos, 0,013, 0,081 e 0,12 m³/m², também crescem progressivamente, mas mantêm-se dentro ou próximos aos referenciais, resultado associado às práticas sustentáveis adotadas nos canteiros, como reaproveitamento de água, segregação de resíduos e treinamentos periódicos das equipes.

Do ponto de vista metodológico, a normalização dos indicadores pelo avanço físico mostrou-se essencial para garantir comparabilidade entre empreendimentos, visto que a velocidade de execução impacta diretamente os indicadores. Os resultados ampliam a base de evidências sobre o desempenho ambiental de obras no Nordeste brasileiro e apontam para o alinhamento das práticas construtivas aos ODS 6, 7 e 12 da Agenda 2030.

No entanto, algumas limitações devem ser consideradas, como o fato de a amostra ser composta por obras de uma construtora e o recorte geográfico restrito ao Nordeste brasileiro, o que pode limitar os indicadores para outros contextos. Soma-se a isso a possível superestimação do indicador de resíduos no acabamento, pela remoção de materiais acumulados em fases anteriores, e a ausência de variáveis de controle como tipo estrutural e padrão de construção.

Recomenda-se, para estudos futuros, a ampliação da amostra para outras regiões e a incorporação de variáveis como tipo estrutural e padrão de acabamento, visando aprofundar a compreensão dos fatores que influenciam os indicadores por fase.

DECLARAÇÃO

Os autores declaram que não utilizaram IA generativa nem tecnologias assistidas por IA no processo de preparação do manuscrito.

REFERÊNCIAS

[1] DOS SANTOS, R. C. et al. Indicadores Sustentáveis para Edificações em Prol da Consolidação do Conceito de Cidades Resilientes / Sustainable Indicators for Buildings for the Consolidation of the Concept of Resilient Cities. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 10, p. 98823–98840, 20 out. 2021.

[2] KRONEMBERGER, D. M. P. Os desafios da construção dos indicadores ODS globais. **Ciência e Cultura**, v. 7, n. 1, p. 40–45, 2019.

[3] LIMA, C. P. D. **Indicadores Ambientais Do Desenvolvimento Da Indústria Do Aço. Avaliação Esg – "Environmental, Social and Governance"**. Trabalho de Conclusão de Curso—Maceió: Universidade Federal de Alagoas, 2022.

[4] ZORZO, F. B. et al. Desenvolvimento Sustentável E Agenda 2030: Uma Análise Dos Indicadores Brasileiros. **Revista Gestão e Desenvolvimento**, v. 19, n. 2, p. 160–182, 30 ago. 2022.

[5] **Trata Brasil - Saneamento e Saúde**. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/brasil-apresenta-evolucao-minima-nos-indicadores-de-saneamento-nos-ultimos-5-anos/>. Acesso em: 26 abr. 2026.

[6] HOEKSTRA, A. Y.; MEKONNEN, M. M. The water footprint of humanity. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 109, n. 9, p. 3232–3237, 28 fev. 2012.

[7] FREY, K. et al. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Santo André: Editora UFABC, 2020.

[8] TURCI, L. F. R.; ROA, Y. H. H.; MUNIZ, A. ODS 7 - energia acessível e limpa: o cenário peculiar de Poços de Caldas-MG. **Expressa Extensão**, v. 28, n. 1, p. 5–16, 2023.

[9] MORAES, C. S. B. DE. **Análise da Eficácia e Viabilidade Socioambiental e Econômica de Tecnologias e Alternativas de Construção Sustentável para Habitação.** Rio Claro, SP: Instituto de Geociências e Ciências Exatas - IGCE, Universidade Estadual Paulista - UNESP, 10 mar. 2019.

[10] ROCHA, G. P. **Proposta de guia prático para o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável nas empresas da construção civil, a partir de pesquisa exploratória em amostra de construtoras na região de São Carlos – SP-Brasil**. Trabalho de Conclusão de Curso—São Carlos: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS, 2022.

[11] OLIVEIRA, L. J. C. et al. Gestão de resíduos: uma análise sobre os impactos da geração de rejeitos na construção civil / Waste management: an analysis of the impacts of the generation of tailings in civil construction. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 24447–24462, 5 maio 2020.

[12] COSTA, D. B. et al. Estudo de valores de referência para os indicadores do pbqp-h voltados à sustentabilidade de canteiros de obra. **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Xonstruído**, v. 17, n. 1, p. 1624–1631, 12 nov. 2018.

[13] MARQUES, C. T.; GOMES, B. M. F.; BRANDLI, L. L. Consumo de água e energia em canteiros de obra: um estudo de caso do diagnóstico a ações visando à sustentabilidade. **Ambiente Construído**, v. 17, p. 79–90, 2017.

[14] EVEN. **Relatório Anual de Sustentabilidade 2024**. São Paulo: EVEN, 2025. Disponível em: <https://api.mziq.com/mzfilemanager/v2/d/f928111c-c68e-45c9-bfc3-5d678e52e7ad/44741d92-74ab-6ac4-586e-a2e5a0d0704b?origin=2>.

[15] PLANO&PLANO. **Relatório de Sustentabilidade 2024**. São Paulo: [s.n.]. Disponível em: <https://api.mziq.com/mzfilemanager/v2/d/dd0335cb-6079-40d0-95fc-fbcb3fa580ef/96149b45-5d33-bb5a-24eb-a1b73550a6cc?origin=2>..

[16] DE OLIVEIRA, L. A. et al. Revista IPT | Tecnologia e Inovação. **Indicadores ambientais em canterios de obras: estudo de caso**, v. 1, n. 1, p. 12, 2016.

[17] DE OLIVEIRA, R. S. **Indicadores ambientais na construção de edifícios em recife/pe**. Trabalho de Conclusão de Curso—Recife: Instituto Federal de Pernambuco, 2023

[18] OLIVEIRA, M. D. P. **Indicadores De Desempenho Ambiental Em Obras De Construção Civil No Municipio De Uberlândia**. Trabalho de Conclusão de Curso - Engenharia Ambiental—Minas Gerais: Universidade Federal de Uberlândia, 2017.