PROPOSTA DE UM FRAMEWORK DE MONITORAMENTO DE ATIVIDADES DE CONCRETAGEM RELACIONADAS À PEGADA DE CARBONO EM PARQUES EÓLICOS

Proposal for a framework to monitor concreting activities related to carbon footprint in wind farms

Caio Mendes Lima
Cortez Engenharia | Fortaleza, Ceará | caiolima@cortezengenharia.com.br

Dayana Bastos Costa
Universidade Federal da Bahia | Salvador, Bahia | dayanabcosta@ufba.br

Bruno Viana Ribeiro
Cortez Engenharia | Fortaleza, Ceará | brunoviana@cortezengenharia.com.br

Edlânia Rodrigues Vieira Brandão
Cortez Engenharia | Fortaleza, Ceará | edlaniabrandao@cortezengenharia.com.br

Ariela dos Santos Amaral Morais
Cortez Engenharia | Fortaleza, Ceará | arielaamaral@cortezengenharia.com.br

Fabiano César de Oliveira Rocha
Cortez Engenharia | Fortaleza, Ceará | fabianorocha@cortezengenharia.com.br

RESUMO

A construção civil enfrenta dificuldades no monitoramento eficiente das emissões de gases de efeito estufa (GEE), especialmente em atividades como a concretagem, que envolvem elevado consumo de recursos e complexidade logística. Este artigo propõe um framework para rastreamento da pegada de carbono, integrando dados operacionais e tecnologia para aprimorar o controle das emissões. A metodologia foi aplicada em um estudo de caso realizado em um parque eólico no estado da Bahia, e estruturada em seis etapas: mapeamento das atividades de concretagem, identificação dos recursos utilizados, coleta de dados operacionais, levantamento de fatores de emissão, consolidação das informações em plataforma digital e análise dos resultados. Com base nesse processo, desenvolveu-se um framework conceitual capaz de integrar dados em tempo oportuno, permitir análises segmentadas e apoiar a gestão ambiental em obras de infraestrutura. O framework também possibilitou o desenvolvimento de dashboards para acompanhamento diário das emissões, facilitando a identificação de padrões de consumo e oportunidades de mitigação. Os resultados qualitativos demonstraram ganhos em precisão e utilidade prática, com aceitação por parte da equipe técnica da empresa parceira. A proposta mostra potencial de replicação em outros contextos da construção civil, contribuindo para práticas mais sustentáveis e alinhadas às metas de descarbonização.

Palavras-chave: Pegada de carbono, Parques eólicos, Logística da construção.

ABSTRACT

The construction sector faces challenges in effectively monitoring greenhouse gas (GHG) emissions, particularly in activities such as concreting, which involve high resource consumption and logistical complexity. This article proposes a framework for tracking the carbon footprint by integrating operational data and technology to enhance emissions control. The methodology was applied in a case study conducted at a wind farm in the state of Bahia, Brazil, and was structured into six stages: mapping concreting activities, identifying the resources used, collecting operational data, determining emission factors, consolidating the information into a digital platform, and analyzing the results. Based on this process, a conceptual framework was developed to integrate data in a timely manner, enable segmented analyses, and support environmental management in infrastructure projects. The framework also enabled the development of dashboards for daily emissions monitoring, facilitating the identification of consumption patterns and mitigation opportunities. The qualitative results demonstrated improvements in accuracy and practical applicability, with positive feedback from the partner company's technical team. The proposed framework shows potential for replication in other construction contexts, contributing to more sustainable practices aligned with global decarbonization goals.

Keywords: Carbon footprint, Wind farm, Construction logistics.

1 INTRODUÇÃO

A mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE) tornou-se uma prioridade global, impulsionando a adoção de práticas sustentáveis em diversos setores. A construção civil, como discutido por Zhao *et al.* (2025), é uma das atividades mais intensivas em recursos e responde por significativa parcela das emissões, devido à fabricação de materiais como o cimento e ao uso de combustíveis fósseis no transporte e operação de equipamentos.

Entre os insumos da construção, o concreto se destaca pela elevada contribuição à pegada de carbono. A indústria do cimento é responsável por cerca de 8% das emissões globais de CO_2, aproximadamente 1,5 gigatoneladas em 2018, sendo que 70% desse total provêm da calcinação do calcário, etapa fundamental na produção do cimento Portland, o mais utilizado mundialmente (Negrão *et al*. 2021). Em obras de grande porte, como fundações para aerogeradores, o uso intensivo de equipamentos pesados agrava ainda mais essas emissões.

A energia eólica tem sido uma alternativa relevante para mitigar impactos ambientais e reduzir a dependência de combustíveis fósseis (Pinto *et al*. 2017). No entanto, embora a fase operacional dos aerogeradores tenha uma baixa emissão, a construção dos parques ainda impõe desafios ambientais, sobretudo pela demanda de concreto e pela complexidade logística.

Nesse cenário, Sizirici *et al.* (2021) destacam que a mensuração e o monitoramento da pegada de carbono durante a fase de construção são importantes para a melhoria da eficiência operacional e a redução dos impactos gerados. Segundo os autores, a utilização de dados operacionais, como consumo de combustível, tempo de funcionamento dos equipamentos e distâncias percorridas, pode contribuir para a identificação de pontos críticos e a adoção de medidas corretivas.

Entretanto, a implementação de práticas mais precisas de rastreamento de emissões ainda enfrenta limitações. Como apontado por Bortoli *et al.* (2023), muitos dos sistemas utilizados para contabilização de emissões apresentam deficiências relacionadas à atualização, integração e aderência às condições reais de campo. De forma complementar, Zhao *et al.* (2025) observa que o monitoramento em tempo real das emissões na construção civil enfrenta limitações tanto de ordem técnica quanto metodológica. Essas limitações comprometem a qualidade das informações disponíveis, dificultam o planejamento de ações preventivas e tornam a gestão ambiental mais reativa do que estratégica.

Este artigo propõe um framework para o monitoramento das atividades de concretagem em parques eólicos, integrando dados operacionais e ambientais para rastrear a pegada de carbono. A proposta visa quantificar as emissões associadas ao consumo de combustível e contribuir para a otimização dos processos construtivos em projetos de energia renovável, promovendo práticas mais sustentáveis e alinhadas às metas globais de descarbonização.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 PARQUES EÓLICOS E A UTILIZAÇÃO DE CONCRETO

A energia eólica tem se consolidado como uma das principais fontes de energia renovável no mundo, destacando-se pela sua capacidade de reduzir a dependência de combustíveis fósseis e de contribuir para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE) (IEA, 2025). No Brasil, especialmente nas regiões Nordeste e Sul, os parques eólicos têm se expandido em grande escala, impulsionados por condições favoráveis de vento e políticas de incentivo à energia limpa (Braz *et al*. 2023)

Apesar dos benefícios ambientais da energia eólica em operação, a fase de construção dos parques impõe desafios relevantes à sustentabilidade. As fundações dos aerogeradores, que podem ser diretas ou indiretas, concentram grande parte desse impacto, devido ao alto consumo de concreto e aço, materiais com elevadas emissões de CO_2, sobretudo pelo uso de cimento Portland (Braz *et al*. 2023; Barroso e Calmon, 2023). Além disso, o transporte intensivo e o uso de equipamentos pesados em locais remotos ampliam a pegada de carbono dessas obras. Estudos de Avaliação do Ciclo de Vida apontam que as fundações podem responder por até 34% do impacto ambiental total de um aerogerador (Barroso e Calmon, 2023). Nesse contexto, práticas de monitoramento da concretagem e da logística tornam-se relevantes para mitigar emissões e melhorar a eficiência dos processos. Lu *et al.* (2024) propuseram uma ontologia voltada ao rastreamento de emissões de carbono na construção civil, com foco na coleta e análise de dados relacionados ao uso de equipamentos, transporte de materiais e condições ambientais no canteiro de obras. Embora a energia eólica

represente uma das principais estratégias para a transição energética, é necessário aprimorar suas etapas construtivas para assegurar ganhos ambientais consistentes (Braz *et al*. 2023; Barroso e Calmon, 2023).

2.2 PEGADA DE CARBONO

A pegada de carbono corresponde à soma das emissões de gases de efeito estufa, expressas em CO_2 equivalente (CO_2e), geradas por atividades humanas ou produtivas, geralmente medidas em toneladas por ano (Sreedhar *et al*. 2016). Na construção civil, essas emissões são influenciadas pelas produções e transportes de materiais, uso de equipamentos e gestão de resíduos. O cimento, por exemplo, emite cerca de uma tonelada de CO_2 por tonelada produzida, devido aos processos químicos e à queima de combustíveis fósseis (Labaran *et al*. 2021).

Para reduzir a pegada de carbono na construção, diversas estratégias têm sido propostas, incluindo a aplicação de práticas sustentáveis, como o uso de materiais alternativos que exigem menos energia na sua produção e melhorias em técnicas de engenharia para aumentar a eficiência. A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) tem sido amplamente empregada para contabilizar emissões ao longo do ciclo completo da obra (Labaran *et al*. 2021). No entanto, Mastrucci *et al.* (2017) apontam que muitas análises ainda ignoram emissões indiretas, o que limita a compreensão integral do impacto ambiental do setor.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O presente estudo adota o método de estudo de caso, centrado na análise de uma obra de parque eólico. Nesse sentido, essa abordagem envolve o mapeamento do estado atual e a definição do estado futuro desejado, com o objetivo de propor e validar um framework para o monitoramento da pegada de carbono associada às atividades de concretagem. A metodologia foi estruturada em seis etapas, baseadas nas boas práticas sugeridas por Araújo e Lucko (2022) e adaptadas do estudo de Piccoli *et al.* (2023).

Seleção do estudo de caso: A obra foi escolhida por envolver a execução de fundações de aerogeradores em terreno acidentado, com logística complexa e ampla disponibilidade de dados operacionais. A construtora parceira atua em projetos de energia renovável, o que reforça a relevância da aplicação.

Mapeamento das atividades: Foram identificadas as principais frentes de concretagem, tipos de fundações (direta e indireta) e os equipamentos envolvidos, como caminhões betoneira e bombas lança.

Coleta de dados operacionais: Utilizaram-se duas fontes: (a) registros e planilhas já existentes na obra e (b) dados coletados por dispositivos móveis em campo, com preenchimento via aplicativo. As informações incluíram consumo de combustível, horas de operação, distâncias percorridas e número de viagens (carradas).

Integração e consolidação de dados: Os registros coletados foram organizados em banco de dados, com integração a um sistema de visualização (Power BI), permitindo análises por período, tipo de atividade e consumo agregado.

Cálculo da pegada de carbono: As emissões foram calculadas com base no consumo total de diesel registrado e em fatores de emissão consolidados (2,69 kg CO_2/litro, conforme EPA/IPCC). O cálculo foi realizado por tipo de equipamento e período, permitindo rastreabilidade temporal e operacional.

Validação do framework: O modelo foi apresentado à equipe técnica da empresa parceira (colaboradores dos setores de sustentabilidade, planejamento e equipamentos), que avaliou sua aplicabilidade e propôs sugestões de ampliação para outras atividades da obra.

A aplicação foi realizada de forma retroativa, com base em dados da obra executada em 2024, permitindo simular o monitoramento em tempo oportuno e validar o funcionamento do framework proposto.

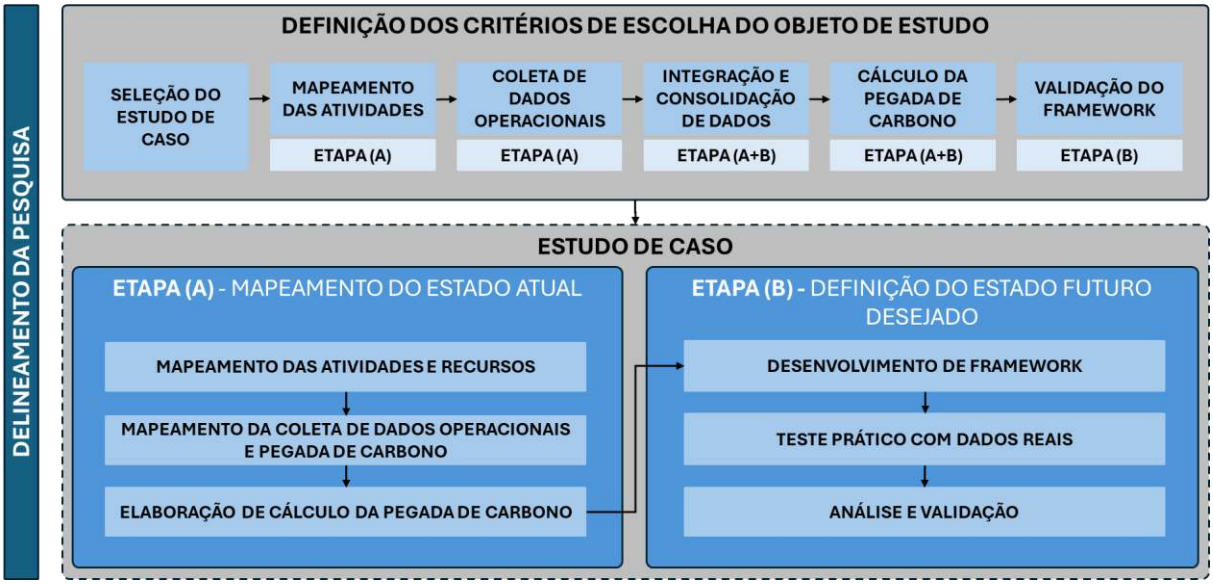
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA CONSTRUTORA E DAS OBRAS DE PARQUES EÓLICOS

O estudo de caso foi realizado em parceria com uma construtora cearense especializada em projetos de energia renovável, com experiência na execução de mais de 3.000 fundações de aerogerados no Brasil. A obra analisada localiza-se na Bahia, em região de serra, apresentando desafios logísticos relevantes, como transporte a longas distâncias e movimentação de equipamentos em terrenos acidentados.

3.2 ESTRUTURAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO DE CASO

As etapas de desenvolvimento deste estudo envolveram a seleção do estudo de caso, o mapeamento das atividades, a coleta de dados operacionais, a integração e consolidação de dados, o cálculo da pegada de carbono e a validação do framework, conforme apresentado na Figura 01.

Figura 1: Fluxo do desenvolvimento do estudo de caso



Fonte: Os autores

3.2.1 MAPEAMENTO DAS ATIVIDADES E RECURSOS

Nesta etapa, foram identificadas as atividades de concretagem associadas às fundações dos aerogeradores, incluindo: concreto de base, concreto ciclópico, drenagem superficial, concreto magro, apoio à infraestrutura civil, apoio à rede de média tensão (RMT), solo-cimento e drenagem profunda. Também foram mapeados os principais equipamentos utilizados, com destaque para 46 caminhões-betoneira e 3 bombas-lança, compondo a base para a análise operacional.

3.2.2 COLETA DE DADOS OPERACIONAIS E PEGADA DE CARBONO

A coleta de dados operacionais foi realizada por meio da integração de tecnologias digitais já consolidadas na rotina da empresa parceira, otimizando o monitoramento das atividades de concretagem. O processo contou com o uso de dispositivos móveis, nos quais cada operador de equipamento registra suas atividades diárias por meio de um aplicativo específico. O Quadro 1 apresenta as principais informações coletadas, juntamente com a forma de registro, destacando o uso de tecnologias automatizadas e de registros manuais em pontos específicos do processo.

Quadro 1: Informações coletadas dos equipamentos

INFORMAÇÕES COLETADAS	FORMA DE COLETA
Prefixo do Equipamento	Leitura QRCode(App)
Família de Equipamento	Leitura QRCode(App)
Ano do Equipamento	Automático
Data de apontamento	Automático
Horimetro Inicial/Final	Digitação Manual(App)
Km Inicial/Final	Digitação Manual(App)
Hora Inicial/Final	Automático
Horas Produtivas	Automático
Horas Operacionais	Automático
Horas Em Manutenção	Automático
Horas Gerenciais	Automático
Carradas	Digitação Manual(App)
Atividade Realizada	Digitação Manual(App)

Fonte: Os autores

Além dos dados operacionais obtidos em campo, a empresa parceira já realizava o levantamento de informações de forma agregada sobre fatores de emissão e consumo de recursos, utilizados no cálculo anual da pegada de carbono, sem distinção por tipo de atividade (Quadro 2). Esse cálculo é realizado por meio de uma plataforma online reconhecida no setor, com base no volume total de concreto utilizado no período e na aplicação de fatores médios de emissão consolidados para a construção civil.

Quadro 2: Informações referentes a pegada de carbono da empresa Parceira

INFORMAÇÕES	CARACTERÍSTICA DO DADO
Fatores de emissão do Concreto	Base-atual
Fatores de emissão de Combustível	Base-atual
Consumo de Combustível	Base-atual
Tipo de Combustível	Base-atual
Média de Consumo	Base-atual
Emissões Totais	Base-atual

Fonte: Os autores

Nesse sentido, a forma agregada com que os dados têm sido levantados atualmente impede a análise detalhada por atividade, assim como o acompanhamento periódico que poderia apoiar decisões estratégicas voltadas à redução da pegada de carbono.

3.2.3 ELABORAÇÃO DE CÁLCULO DE PEGADA DE CARBONO

O cálculo das emissões de CO_2 aplicado no framework foi realizado com base no volume de diesel consumido pelos veículos utilizados nas atividades de concretagem, sem distinção quanto ao ano de fabricação dos equipamentos. Isso se deve ao fato de que a quantidade de CO_2 emitida por litro de diesel depende exclusivamente da composição química do combustível, sendo praticamente constante, conforme indicado por fontes como a EPA e o IPCC (cerca de 2,69 kg de CO_2 por litro) (EPA, 2025). Assim, a emissão de CO_2 foi obtida multiplicando-se o volume total de combustível consumido pelo fator de emissão de 0,00269, resultando no valor em toneladas. Os cálculos foram realizados de forma automatizada, por meio do Power BI, utilizando os dados operacionais consolidados.

3.2.4 CONSTRUÇÃO DO MODELO DE ANÁLISE

Com base nos dados operacionais coletados, foi estruturado um modelo de cálculo automatizado das emissões de CO_2, vinculado a métricas como horas de operação, quilômetros percorridos e volume transportado. Embora a aplicação em campo tenha ocorrido de forma retroativa, os dados disponíveis permitiram simular a funcionalidade do framework em condições reais de obra, servindo como base para a validação de sua aplicabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O tópico de resultados e discussões apresenta o framework desenvolvido, a aplicação prática com dados reais da obra do estudo de caso, a análise retroativa realizada para sua validação e a avaliação qualitativa baseada nos resultados obtidos durante o teste.

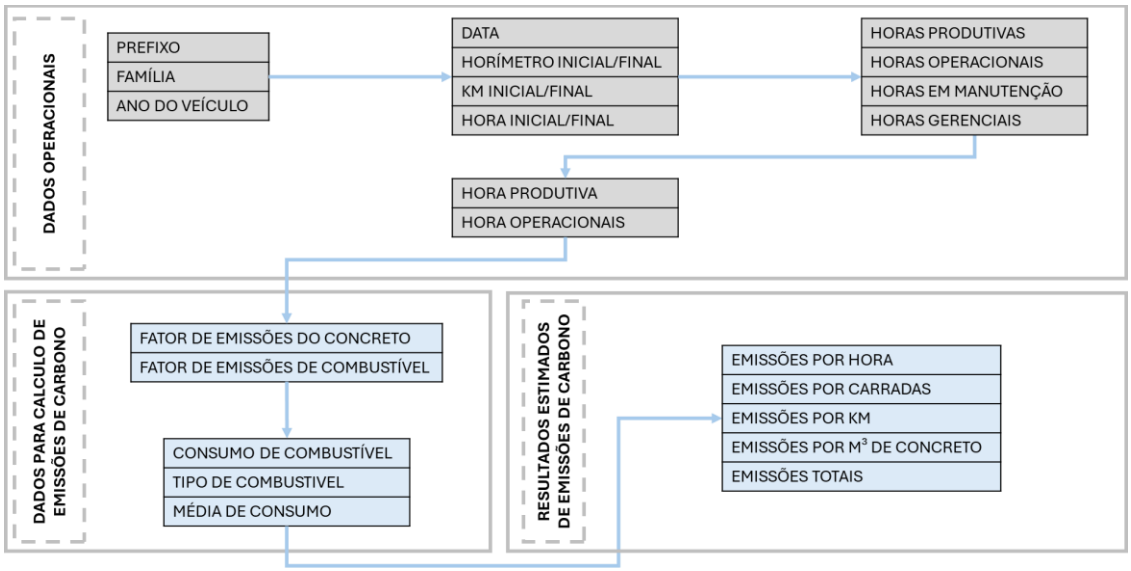
4.1 FRAMEWORK CONCEITUAL

O framework conceitual desenvolvido neste estudo organiza, de forma sistemática, as informações necessárias para a rastreabilidade da pegada de carbono nas atividades de concretagem. O modelo integra dados operacionais coletados em campo, como consumo de combustível, registro de horas trabalhadas e demais parâmetros relevantes para o cálculo das emissões.

Estruturado em camadas (Figura 2), o framework inicia pela coleta de dados operacionais, como informações de equipamentos, consumo e produtividade, vinculando-os a fatores de emissão específicos. Isso permite o cálculo de emissões por métricas como hora de operação, quilômetro percorrido, volume transportado e número de carradas.

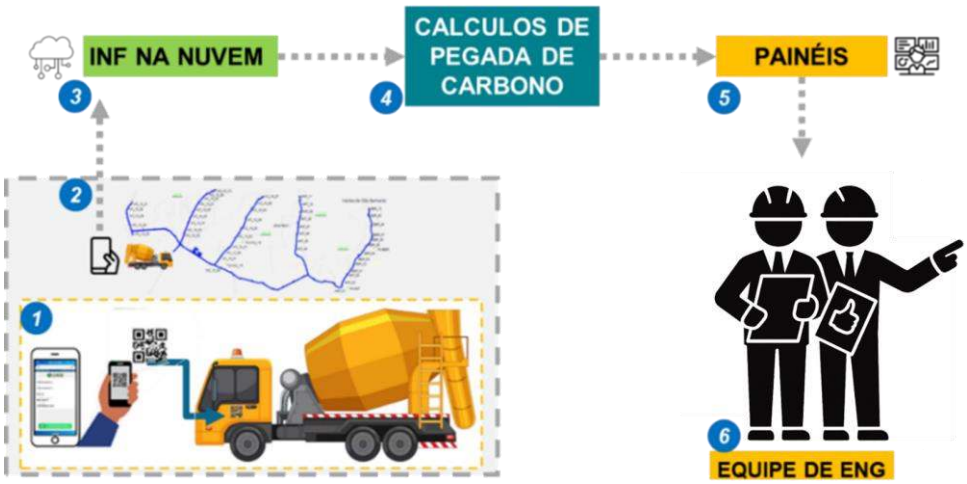
Seu objetivo é viabilizar a rastreabilidade contínua das emissões, com análises diárias e identificação de pontos críticos ao longo da obra. O modelo também prevê integração com banco de dados em nuvem e uso de dashboards para o monitoramento em tempo oportuno (Figura 3).

Figura 2: Framework Conceitual



Fonte: Os autores

Figura 3: Proposta de monitoramento



Fonte: Os autores

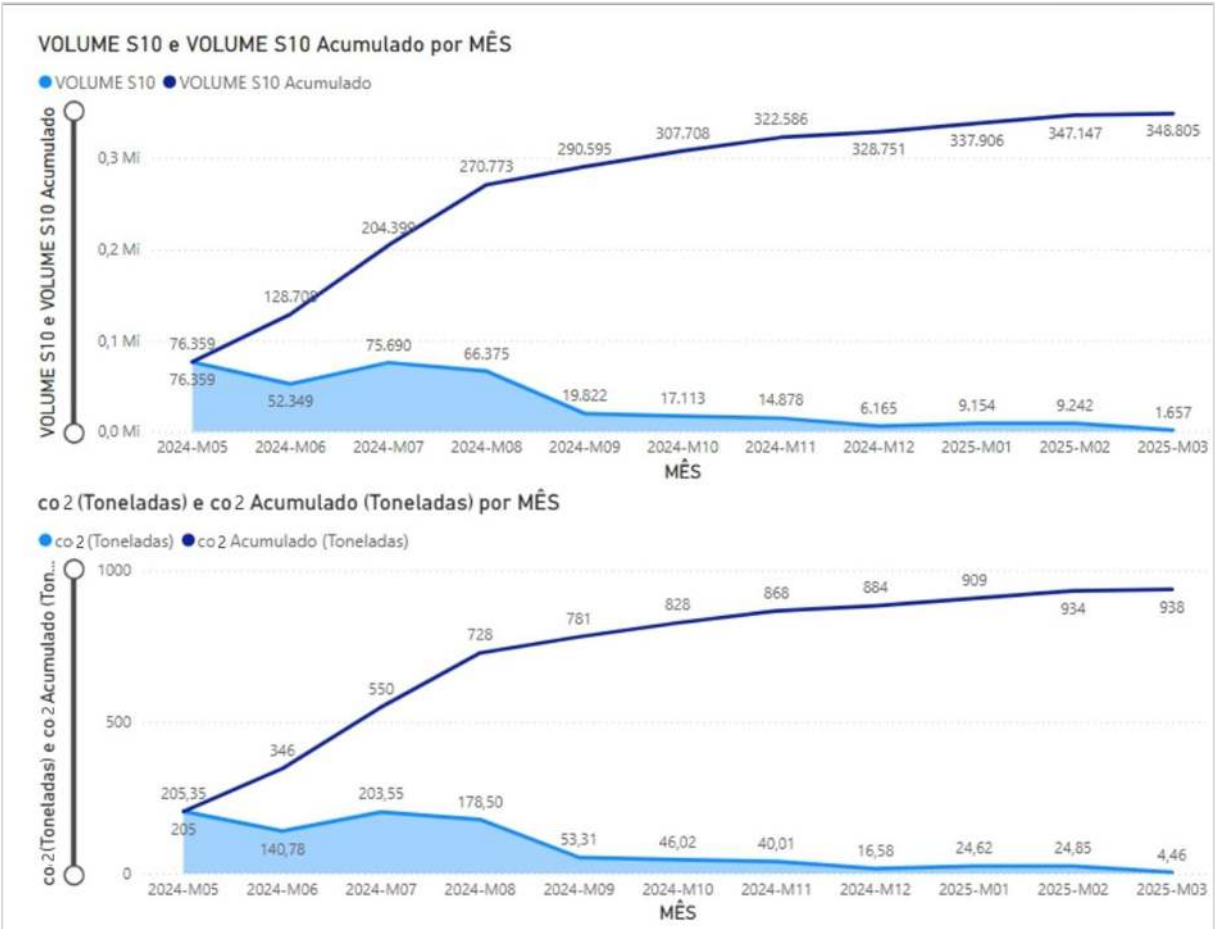
Conforme descrito no tópico de procedimentos metodológicos, as Figuras 4 e 5 apresentam a aplicação retroativa do framework proposto, a partir de dados coletados pela empresa em 2024. Diferente do processo anteriormente adotado pela empresa parceira, que utilizava médias agregadas anuais, o modelo desenvolvido permite maior rastreabilidade por tipo de atividade e período, como defendem Bortoli *et al.* (2023) e Zhao *et al.* (2025), ao destacarem a importância da integração e atualização das informações para a gestão ambiental. A aplicação simulada mostra que o framework permite análises mais precisas e ações de mitigação oportunas, contornando limitações dos métodos tradicionais, conforme apontado por Sizirici *et al.* (2021).

A Figura 4 evidencia uma redução no consumo de combustível e nas emissões de carbono no fim de agosto e início de setembro, atribuída à finalização das concretagens das bases e à predominância de atividades de drenagem, que demandam menor mobilização de equipamentos e deslocamentos no canteiro.

A Figura 5 detalha a variação semanal do consumo de combustível e das emissões, evidenciando a influência da logística interna, mesmo em frentes com volumes similares de concretagem , conforme relatado pela equipe de obra. O resultado destaca a importância do planejamento operacional em obras geograficamente dispersas. Diferentemente de abordagens conceituais mais amplas, como a de Lu *et al.* (2024), que propõem modelos

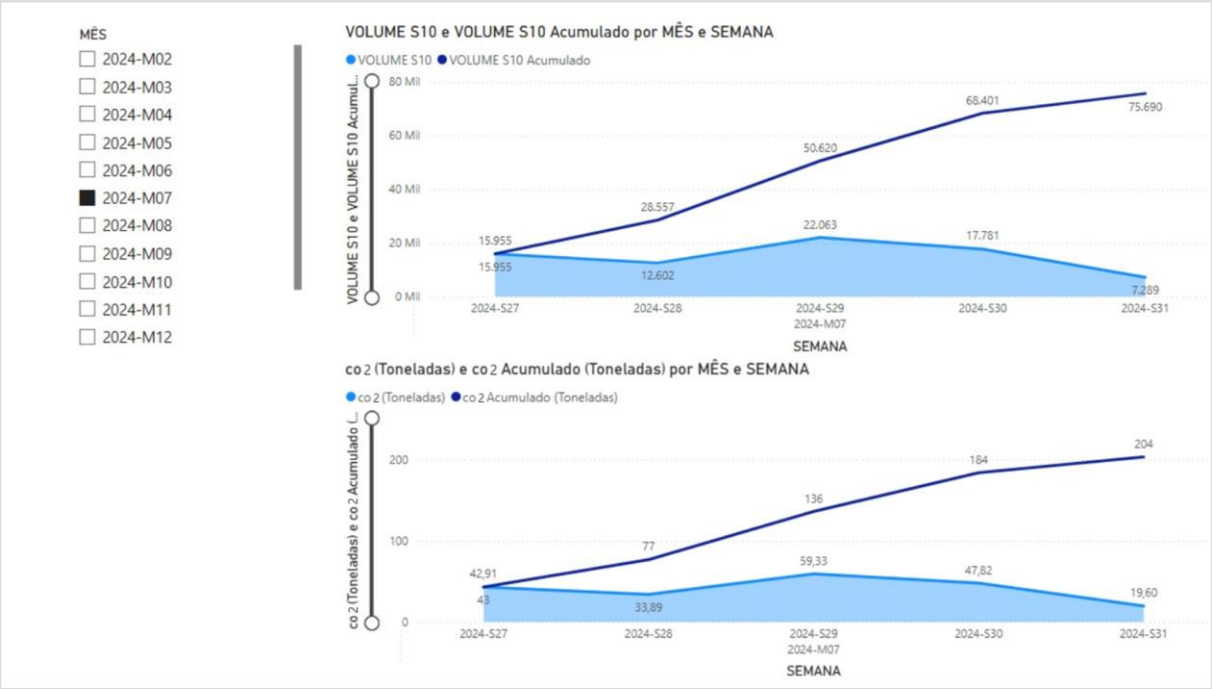
ontológicos para padronização de dados de emissões, o presente estudo foca na aplicabilidade prática do monitoramento com dados reais de campo, demonstrando sua viabilidade em contextos operacionais complexos.

Figura 4: Análise mensal do consumo de combustivel utilizado nos equipamentos Caminhão Betoneira e Bomba Lança



Fonte: Os autores

Figura 5: Análise semanal do consumo de combustivel e emissão de Co2 no mês de Julho



Fonte: Os autores

4.2 ANÁLISE QUALITATIVA DO FRAMEWORK

A análise qualitativa foi conduzida por meio de entrevistas com profissionais da área de Sustentabilidade da empresa parceira, incluindo representantes das equipes de SGI, planejamento, custos e equipamentos. O framework foi apresentado com foco em suas funcionalidades e em seu potencial para aprimorar a gestão da pegada de carbono em tempo oportuno. Os participantes demonstraram aceitação positiva, destacando a importância da rastreabilidade contínua e da possibilidade de ações mitigadoras durante a execução da obra.

Também foi sugerida sua aplicação em outras etapas da obra, como a supressão vegetal. Além disso, recomendou-se a inclusão das emissões diretas de resíduos sólidos e efluentes, ampliando o potencial do framework como ferramenta de gestão ambiental.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo propôs um framework conceitual para o monitoramento da pegada de carbono em atividades de concretagem em parques eólicos, com foco na rastreabilidade de dados operacionais integrados aos cálculos de emissões. A partir do estudo de caso em um parque eólico na Bahia, foi possível mapear atividades críticas, identificar desafios logísticos e reforçar a importância do controle de emissões em obras de infraestrutura energética.

A coleta estruturada de dados via dispositivos móveis demonstrou ganhos em precisão e agilidade. Em relação à prática anteriormente adotada pela empresa, baseada em dados anuais agregados, o framework representa um avanço ao permitir análises segmentadas e em tempo oportuno, promovendo uma gestão mais eficaz das emissões durante a execução da obra.

A análise qualitativa evidenciou uma percepção positiva do framework e destacou seu potencial para aprimorar a gestão da pegada de carbono durante a obra. Além da possibilidade de aplicação na supressão vegetal, sugeriu-se a inclusão de emissões diretas de resíduos sólidos e efluentes, ampliando seu uso como ferramenta de gestão ambiental. Embora o framework tenha sido baseado em um único caso, o modelo apresenta potencial de adaptação a diferentes contextos da construção civil e contribui para práticas mais sustentáveis alinhadas às metas globais de redução de emissões.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, L. G.; LUCKO, G. Best Practices for Case Studies in Construction Engineering and Management Research. **J. Constr. Eng. Manage.**, v. 148, 2022. Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29CO.1943-7862.0002312>. Acesso em: 20 jan. 2025.

BARROSO, A. P. M.; CALMON, J. L. Avaliação do ciclo de vida de fundações de torres eólicas: Estudo Comparativo. **Engineering and Science**. v. 12, Ed.12:2, 2023. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/eng/article/view/15067>.Acesso em: 22 jan. 2025.

BORTOLI, A; BJORN, A; SAUNIER, F; MARGNI, M. Planning sustainable carbon neutrality pathways: accounting challenges experienced by organizations and solutions from industrial ecology. The international **Journal of Life Cycle Assessment**, V. 28. P 746-770 2023. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-023-02147-z>.Acesso em: 20 de jun de 2025.

BRAZ, E. M.; BARROS, R. C. Fundações De Aerogeradores: Uma Abordagem entre as Tipologias Direta e Indireta. **XIV Congresso Brasieleiro de Pontes e Estruturas**. p. 1-12, 2023. Disponível em: <http://abpe.org.br/trabalhos2023/trabalhos/ID_094.pdf>.Acesso em: 24 de mar de 2025.

EAP. Environmental protection agency. Greenhouse Gas Equivalencies Calculator. Disponível em: <https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gas-equivalencies-calculator#results>.Acesso em: 24 de mar de 2025.

IEA – Renewables 2024 Executive Summary. Disponível em: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/17033b62-07a5-4144-8dd0-651cdb6caa24/Renewables2024.pdf>.Acesso em: 20 de jun de 2025.

LABARAN, Y. H.; MATHUR. V. S. FAROUQ, M. M. The carbon footprint of construction industry: A review of direct and indirect emission. **Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies**. v. 6, Issue. 3, p. 101–115, 2021. Disponível em: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/2002760>. Acesso em: 23 de jan de 2025.

LU, Y; SONG, G; LI, P; WANG, N. Development of an ontology for construction carbon emission tracking and evaluation. **Journal of Cleaner Production**, v443, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652624006176>.Acesso em: 20 de jun de 2025.

MASTRUCCI, A.; MARVUGLIA, A.; LEOPOLD, E.; BENETTO, E. Life Cycle Assessment of building stocks from urban to transnational scales: a review. **Renew. Sustain. Energy**. v. 74, p. 316-332, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032117302794>. Acesso em: 23 de jan de 2025.

NEGRÃO, L. B. A; POLLMANN, H. COSTA, M. L, Production of low-CO2 cements using abundant bauxite overburden “Belterra Clay”, **Sustainable Materials and Technologies**, v 29, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214993721000543>.Acesso em: 20 de jun de 2025.

PICCOLI, D.L.; VARELA, E.P.A.; TREBINO, F.S.; NASCIMENTO, N.R.L.; MELO, R.S.S. de. Proposta de automatização de pagamento do concreto de paredes moldadas in loco integrando BIM e Blockchain. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO**, 4., 2023, Aracaju. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2023. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/sbtic/article/view/2639>.Acesso em: 25 de jan de 2025.

PINTO, L. I. C.;. MARTINS, F. R; PEREIRA, E. B. O mercado brasileiro da energia eólica, impactos sociais e ambientais. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science.** v. 12, 2017. Disponível em:<https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/5b77GB9j4yPTzkS4pjxyhvH/>.Acesso em: 23 de jan de 2025.

SIZIRICI, B.; FSEHA, Y.; CHO, C. YILDIZ I.; BYON, Y. A Review of Carbon Footprint Reduction in Construction Industry, from Design to Operation. **Materials**. V14. 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1944/14/20/6094>.Acesso em: 11 de jan de 2025.

SREEDHAR, S.; JICHKAR, P.; BILIGIRI, K. P. Investigation of Carbon Footprints of Highway Construction Materials in India. **Transportation Research Procedia**, v. 17, p. 291 – 300, 2016. Disponível em:<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146516307104>.Acesso em: 20 de jan de 2025.

ZHAO, Y.; LI, C. Z.; SHEN, Q. G.; TENG, Y.; WU, H.; LIU, R. Managing carbon emissions in construction: Current status and emerging trends. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.211, 2025. Disponível em:<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032124009638>.Acesso em: 20 de jan de 2025.