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.v21i1.8289

Estudo da avaliação técnica e ambiental de concretos produzidos com CP II-F-40 e CP IV-32 RS

Study of the technical and environmental evaluation of concretes produced with PC II-F-40 and PC IV-32 RS

Giovani de Barros Moreira
UTFPR | Pato Branco | Brasil | giovanimoreira@alunos.edu.br
Paulo Cezar Vitorio Junior
UTFPR | Pato Branco | Brasil | paulocjunior@utfpr.edu.br
Priscila Ongaratto Trentin
UTFPR | Pato Branco | Brasil | priscilatrentin@utfpr.edu.br

Resumo

O concreto é o material mais utilizado na construção civil e passa por constantes mudanças para o melhor desempenho mecânico e ambiental. O presente trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade técnica e ambiental da substituição do cimento Portland composto com fíler (CP II-F-40) pelo cimento Portland pozolânico resistente a sulfatos (CP IV-32 RS) na produção de concreto usinado. Foram realizados ensaios de resistência à compressão aos 28 e 56 dias de cura, com substituição de cimento nos teores de 50 e 100%. Paralelamente, realizou-se a Avaliação do Ciclo de Vida com abordagem do berço ao portão, utilizando o software SimaPro e a base de dados Ecoinvent 3.11. Os resultados mostraram que os concretos produzidos atingiram a resistência característica de projeto de 35 MPa, e que o traço com substituição total pelo CP IV-32 RS apresentou desempenho mecânico semelhante ao traço referência, além de menor emissão de CO_2. Dessa forma, verificou-se que a substituição do CP II-F-40 pelo CP IV-32 RS é tecnicamente viável e ambientalmente vantajosa, contribuindo para a redução do impacto ambiental da produção de concreto e para o desenvolvimento de práticas mais sustentáveis na construção.

Palavras-chave: Concreto usinado. Cimento Portland. Sustentabilidade. Avaliação do ciclo de vida.

Abstract

Concrete is the most widely used material in civil construction and undergoes continuous improvements to enhance its mechanical and environmental performance. This work aims to analyze the technical and environmental feasibility of replacing Portland composite cement with filler (CP II-F-40) with sulfate-resistant pozzolanic Portland cement (CP IV-32 RS) in the production of ready-mixed concrete. Compressive strength tests were performed at 28 and 56 days of curing, with cement replacement at levels of 50% and 100%. In parallel, a Life Cycle Assessment was carried out using a cradle-to-gate approach, utilizing SimaPro software and the Ecoinvent 3.11 database. The results showed that the concretes produced reached the characteristic design strength of 35 MPa, and that the mix with total replacement by CP IV-32 RS presented mechanical performance like the reference mix, in addition to lower CO_2 emissions. Thus, it was found that replacing CP II-F-40 with CP IV-32 RS is technically feasible and environmentally advantageous, contributing to the reduction of the environmental impact of concrete production and to the development of more sustainable construction practices.

Keywords: Ready-mixed concrete. Portland cement. Sustainability. Life cycle assessment.

Como citar:
DE BARROS MOREIRA, G.; VITORIO JUNIOR, P. C.; ONGARATTO TRENTIN, P. Estudo da avaliação técnica e ambiental de concretos produzidos com CP II-F-40 e CP IV-32 RS. **In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 21, 2026, Goiânia. Anais... Goiânia: ANTAC, 2026.**

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8289

INTRODUÇÃO

O concreto de cimento Portland é um dos principais materiais utilizados na construção civil contemporânea. Ele está presente desde a pavimentação até a estrutura, e é marcante em obras de infraestrutura, edificações comerciais e residenciais. Isso se deve a sua versatilidade, resistência mecânica, durabilidade e capacidade de adaptação a diferentes condições de projeto [1].

O concreto, por ser uma mistura de cimento, água, agregados graúdos e miúdos, aditivos e adições minerais, possui infinitas composições que podem atender as condições de projeto, e por isso, passa por constantes inovações que visam otimizar o desempenho técnico, econômico e ambiental [2].

O concreto usinado surgiu como uma evolução na indústria da construção civil, especialmente a partir da década de 1960, com a crescente demanda por obras mais rápidas e eficientes. Produzido em centrais dosadoras ou misturadoras, ele é transportado até o canteiro de obras por caminhões betoneira e, comparado com o concreto produzido *in loco*, fornece controle de qualidade do material, diminuição do espaço destinado a estoque de insumos, menor relação entre custo e benefício e maior produtividade [3].

É requerido que o concreto fornecido por uma central dosadora de concreto possua um desempenho técnico adequado, atendendo as especificações do projeto estrutural. Para isso, é necessário que o concreto satisfaça os requisitos de resistência à compressão, abatimento e dimensão máxima do agregado, além de apresentar durabilidade frente a condição ambiental em que a obra está inserida e não ultrapassar o tempo máximo de uso, definido pelo início do processo de hidratação do cimento até o lançamento do concreto em obra, determinado pelas normas ABNT NBR 7212 [4] e ABNT NBR 12655 [5].

As empresas fornecedoras de concreto têm como objetivo atender aos critérios de projeto com o menor custo e o menor dano ambiental possíveis, buscando alternativas para reduzir o consumo de cimento e de aditivos, mantendo a resistência e trabalhabilidade [6]. Com isso, o presente trabalho busca avaliar o desempenho mecânico do concreto produzido a partir da substituição parcial e total do cimento CP II F-40 pelo CP IV-32 RS. O CP IV-32 RS, além de possuir um preço menor, também é menos agressivo ao meio ambiente, levando em conta a menor porcentagem de clínquer presente em sua fabricação [7].

A construção civil exerce grande influência no meio ambiente devido ao alto consumo de recursos naturais e à significativa emissão de gases de efeito estufa. No Brasil e no mundo, o setor se destaca como um dos principais responsáveis pelas emissões relacionadas à produção de materiais, ao uso de energia e à geração de resíduos. Esse cenário ganha importância diante dos compromissos estabelecidos em acordos internacionais, como o Protocolo de Kyoto e o Acordo de Paris, que incentivam a adoção de práticas mais sustentáveis [8]. Por isso, é essencial quantificar com precisão as emissões da construção civil e implementar estratégias de mitigação, incluindo o uso de materiais de menor impacto, melhorias tecnológicas e uma gestão mais eficiente dos resíduos [9].

Além disso, o trabalho também visa realizar a quantificação do dióxido de carbono (CO_2) emitido para a atmosfera por meio da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), buscando determinar o desempenho técnico e ambiental de cada traço de concreto produzido.

A escolha do CP II F-40 e do CP IV-32 RS reflete o cenário atual da indústria cimenteira brasileira, onde o CP II é o cimento mais comercializado, enquanto o

CP IV cresce devido à maior demanda por produtos de menor impacto ambiental e melhor desempenho durável. Além disso, ambos estão amplamente disponíveis na região de estudo, justificando a pertinência da comparação.

MATERIAIS E MÉTODOS

MATERIAIS

Para produção dos traços de concreto foram utilizados cimento Portland, tipos CP-II F-40 e CP IV-32 RS, uma composição de areias natural e artificial como agregado miúdo, uma composição entre britas 0 e 1 como agregado graúdo, água potável e aditivo plastificante a base de policarboxilatos.
A caracterização dos cimentos é apresentada na Tabela 1. O cimento CP II F-40 é caracterizado pela presença de fíler calcário em sua composição, o que o diferencia de cimentos com adições pozolânicas, como o CP IV. Por se tratar de um cimento sem adições reativas, sua hidratação tende a desenvolver resistência de maneira mais rápida nas idades iniciais. O cimento CP IV-32 RS contém materiais pozolânicos em sua composição, capazes de reagir com os produtos liberados durante a hidratação, contribuindo para a formação adicional de compostos cimentantes. Essa reação pozolânica reduz a permeabilidade do concreto e melhora sua durabilidade, especialmente em ambientes potencialmente agressivos. Como pode ser observado na Tabela 1, o CP IV-32 RS tem ganho de resistência gradual, atingindo 52,8% de sua resistência final aos 3 dias.

Tabela 1: Caracterização dos cimentos CP II-F-40 e CP IV-32 RS

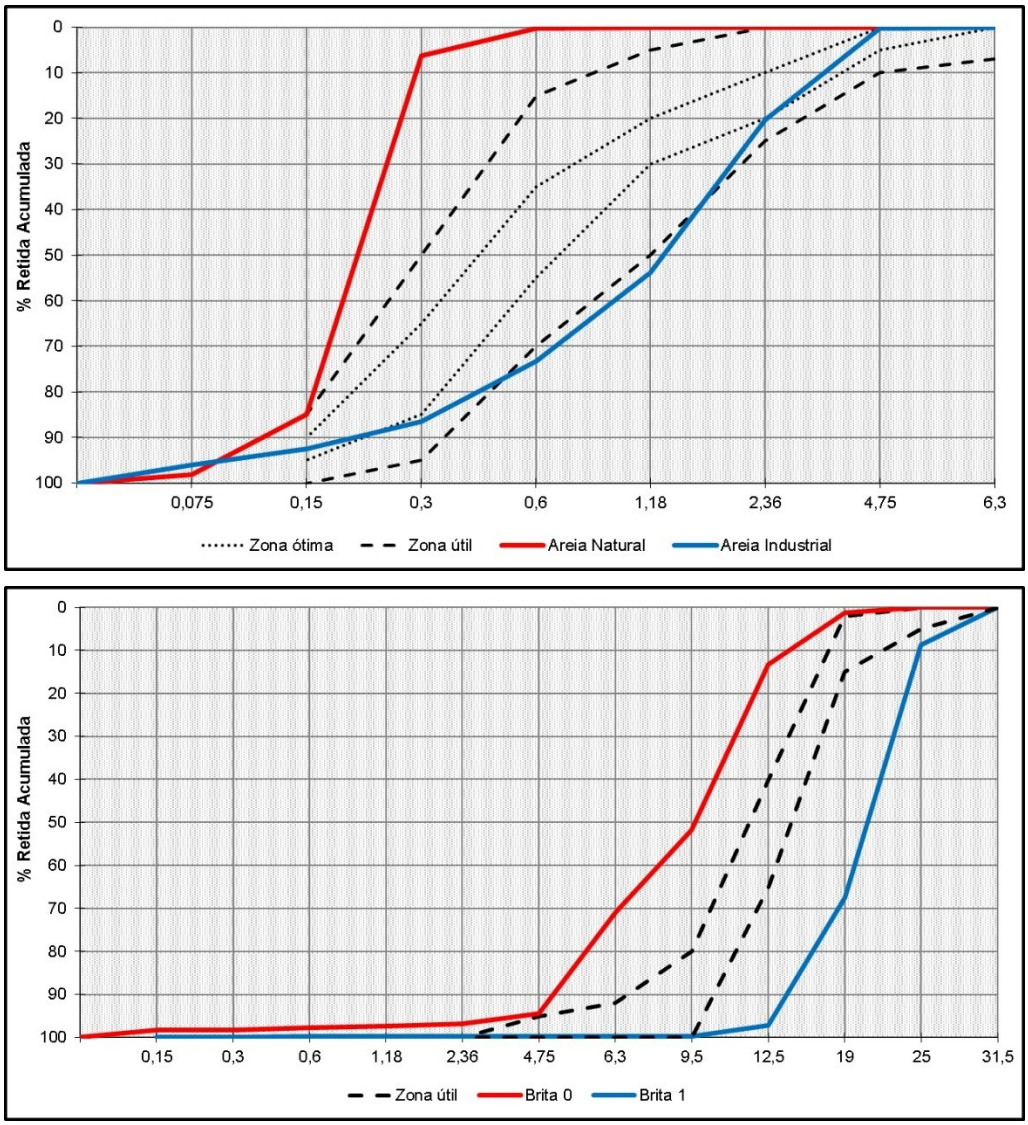
Parâmetro		CP II-F-40	Limite conforme ABNT NBR 16697 (2018)	CP IV-32 RS	Limite conforme ABNT NBR 16697 (2018)
PF		5,89	≤ 12,5	3,85	≤ 6,5
MgO		5,08	N / A	4,76	N / A
SO_3		2,84	≤ 4,5	2,30	≤ 4,5
RI		1,38	7,5	26,83	N / A
Blaine (cm^2/g)		4733	≥ 2800	4606	≥ 2800
Tempo de início de pega (min)		231	≥ 60	272	≥ 60
Tempo de fim de pega (min)		299	≤ 600	345	≤ 600
Resistência à Compressão (MPa)	1 dia	23,8	N / A	12,9	N / A
	3 dias	33,8	≥ 15,0	21,6	≥ 10,0
	7 dias	39,3	≥ 25,0	27,0	≥ 20,0
	28 dias	46,6	≥ 40	40,9	≥ 32,0

Fonte: Votorantim Cimentos, 2025 (Adaptado).

Os agregados miúdos foram constituídos por 30% de areia natural e 70% de areia artificial. Já para a composição de agregados graúdos foi utilizada 28% de brita 0 e 32% de brita 1. Todas as proporções seguiram o percentual praticado atualmente pela indústria de concreto usinado que motivou o presente trabalho. A curva granulométrica de cada um dos agregados utilizados é apresentada na Figura 1. As massa específicas das areias natural e artificial são,

respectivamente, 2,63 e 2,88 g/cm^3. Já as massas específicas de brita 0 e 1 são, respectivamente, 2,94 e 2,96 g/cm^3.

Figura 1: Granulometria dos agregados utilizados



Fonte: o autor.

A água de amassamento utilizada na pesquisa foi água potável obtida da rede pública de abastecimento de Pato Branco-PR. Além disso, foi utilizado o aditivo plastificante a base de policarboxilatos, sendo classificado pela norma ABNT NBR 11768-1 [10] como um redutor de água e retardador de pega.

TRAÇOS DE CONCRETO

Foram analisados três diferentes traços de concreto, conforme a Tabela 2. Para a dosagem dos concretos foi definida a resistência característica à compressão de 35MPa, conforme utilizado pela indústria concreteira, com uma relação água cimento definida em 0,50. Essa escolha justificou-se pela maior comercialização desse traço para concretagem de vigas, pilares e fundações.

Tabela 2: Quantitativos de materiais para produção de 1m³ de concreto

Material (kg/m³)	Traço referência	Traço 50% de CP IV	Traço 100% de CP IV
CP II F-40	361,47	180,73	0,00
CP IV-32 RS	0,00	180,73	361,47
Areia natural	267,49	267,49	267,49
Areia industrial	625,34	625,34	625,34
Brita 0	314,48	314,48	314,48
Brita 1	809,69	809,69	809,69
Aditivo	3,25	3,25	3,25
Água	180,73	180,73	180,73

Fonte: o autor.

Para cada traço, corpos de prova foram moldados com dimensões padrão de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura, seguindo as recomendações da norma ABNT NBR 5738 [11]. Foram produzidos quatro corpos de prova para rompimento aos 28 dias e outros quatro para rompimento aos 56 dias para cada traço de concreto.
Após a moldagem, as amostras foram mantidas em os corpos de prova foram mantidos em câmara úmida, com temperatura de 23°C e umidade de maior ou igual a 95%, até a idade de rompimento.

ENSAIOS EM CONCRETO FRESCO E ENDURECIDO

A trabalhabilidade do concreto fresco foi avaliada pelo ensaio de abatimento do tronco de cone, conforme a ABNT NBR 16889 [12]. Já no estado endurecido foram realizados os ensaios de resistência à compressão, conforme a NBR 5739 [13], aos 28 e 56 dias, com 4 corpos de prova por traço e idade.

O tratamento estatístico dos resultados experimentais foi conduzido conforme as recomendações da norma ASTM E178 [14], adotando-se o Single Outlier Test para a identificação de possíveis observações espúrias entre as resistências à compressão obtidas, e utilizando um nível de significância de 5%, garantindo uma confiabilidade de 95% na avaliação de valores discrepantes. Dessa forma, são apresentados no trabalho os dados já tratados.

AVALIAÇÃO AMBIENTAL

A ACV teve como objetivo avaliar o impacto ambiental dos concretos produzidos com diferentes tipos de cimento, por meio da quantificação das emissões de CO_{2eq} associadas à sua produção.
A unidade funcional adotada nesta ACV é a produção de 1 m³ de concreto, permitindo a comparação direta entre os diferentes tipos de cimentos utilizados. O estudo considera uma fronteira do berço ao portão, abrangendo as etapas da fabricação das matérias-primas, até a saída da fábrica, incluindo fatores como o consumo de água e energia nos processos de pré-tratamento. Etapas como transporte de matérias-primas, aplicação do concreto em obra e impactos indiretos de longo prazo foram excluídas do escopo deste estudo.
A análise foi realizada utilizando o software SimaPro, com suporte da base de dados Ecoinvent 3.11, adotando a abordagem Midpoint Hierarchist do método ReCiPe 2016 para avaliação do potencial de aquecimento global. Neste estudo,

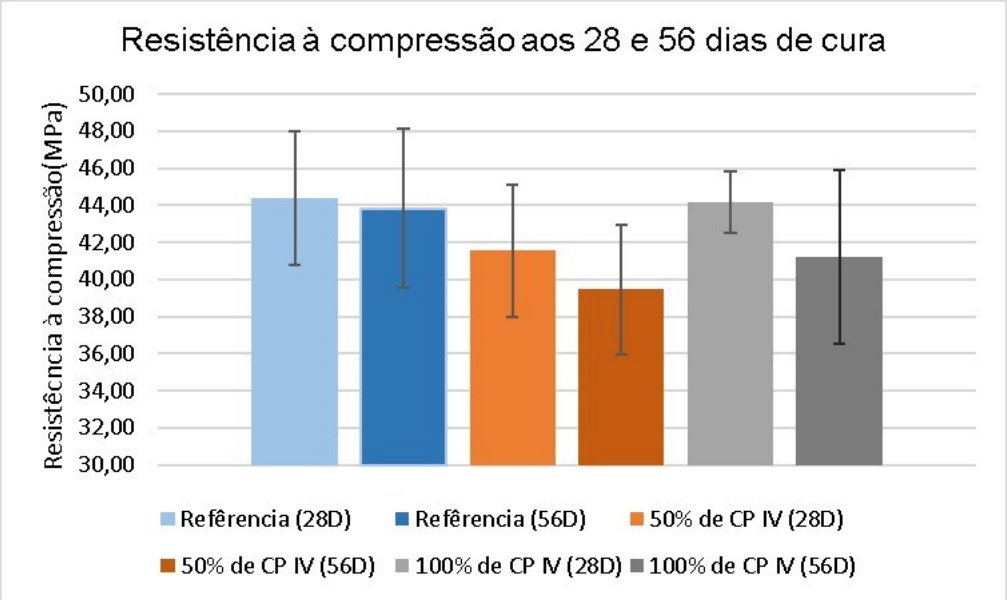
foi considerado apenas o indicador de Potencial de Aquecimento Global (Global Warming Potential – GWP), expresso em kg de CO_2 equivalente, por ser o parâmetro mais relevante para a comparação dos concretos produzidos com diferentes tipos de cimento.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

A Figura 2 apresenta os valores de resistência mecânica a compressão dos concretos produzidos.

Figura 2: Resistência à compressão dos concretos aos 28 e 56 dias de cura



Fonte: o autor.

A partir dos resultados, observa-se que o traço de referência apresentou as maiores resistências aos 28 e 56 dias, enquanto o traço produzido com a mistura dos dois cimentos teve o menor desempenho. Esse resultado pode ser explicado pelas diferenças de composição e de comportamento na hidratação de cada cimento. Como cada um possui proporções distintas de compostos do clínquer, adições e finura, a combinação dos dois pode fazer com que as reações não ocorram de maneira totalmente compatível, reduzindo a eficiência na formação do C-S-H, principal responsável pelo ganho de resistência. Porém, os três traços apresentaram valores de resistência muito próximos entre si, tanto aos 28 quanto aos 56 dias, demonstrando que a substituição parcial e total não compromete a resistência mínima requerida.

Diferenças nas características físicas e químicas dos cimentos também podem afetar o empacotamento das partículas e a evolução da microestrutura, o que contribui para a menor resistência observada. Esse comportamento já havia sido relatado por Oliveira [15], que também verificou queda de desempenho em misturas envolvendo cimentos distintos quando comparados com concretos produzidos com apenas um tipo de cimento.

Também é possível notar que a resistência à compressão aos 56 dias de cura dos três traços testados forneceu valores inferiores aos resultados com 28 dias de cura, mesmo com todas as moldagens sendo realizadas de igual maneira. Isso ocorreu devido a desvios no processo de retificação das bases dos corpos de prova, o que também justifica o aumento no desvio padrão encontrado.
Por fim, todas as misturas atenderam a resistência à compressão de projeto, de 35MPa, nas idades de 28 e 56 dias de cura, o que além de garantir a resistência do concreto entregue, também permite a realização da ACV das três misturas a partir do escopo especificado.

AVALIAÇÃO AMBIENTAL

A partir da quantificação dos impactos ambientais por meio da emissão de dióxido de carbono equivalente (kg CO_{2eq}) na categoria de impacto "Global Warming Potential" determinou-se os impactos ambientais para cada traço, conforme a Tabela 3.

Tabela 3: Quantificação dos impactos ambientais

Traço	Categoria de impacto	Unidade	Quantidade por m^3
Referência	Global Warming Potential	kg CO_{2eq}	350,92
50% de CP IV			307,03
100% de CP IV			263,13

Fonte: o autor.

Assim, é possível perceber que aumentando a substituição do CP IV-32 RS também se aumenta o desempenho ambiental do concreto. Essa diferença se dá principalmente devido ao CO_2 emitido na utilização do combustível fóssil na produção de cada tipo de cimento, conforme pode-se ver na tabela 4.

Tabela 4: Produção de CO_2 do combustível fóssil no cimento

Descrição	Categoria de impacto	Substância	Unidade	Quantidade	Diferença
Cement, CP II-F {BR}| cement production, CP II-F | Cut-off, U	Global Warming Potential	Carbon dioxide, fossil	kg	0,57	-
Cement, CP IV {BR}| cement production, CP IV | Cut-off, U	Global Warming Potential	Carbon dioxide, fossil	kg	0,25	-56,14%

Fonte: o autor.

Além disso, a análise de ACV permitiu quantificar a emissão de CO_{2eq} de cada material constituinte de cada traço de concreto (Tabela 5).

Tabela 5: Emissão de $CO_{2\text{-eq}}$ por material de cada traço de concreto

	Emissão de CO_{2eq} por material de cada traço de concreto		
Material	Referência	50% de CP IV	100 % de CP IV
CP II F-40	287,03	143,52	0,00
CP IV-32 RS	0,00	99,62	99,62
Areia natural	1,88	1,88	1,88
Areia industrial	3,00	3,00	3,00
Brita 0	1,51	1,51	1,51
Brita 1	3,88	3,88	3,88
Água	0,03	0,03	0,03
Aditivo plastificante	53,60	53,60	53,60
Total	350,92	307,03	263,13

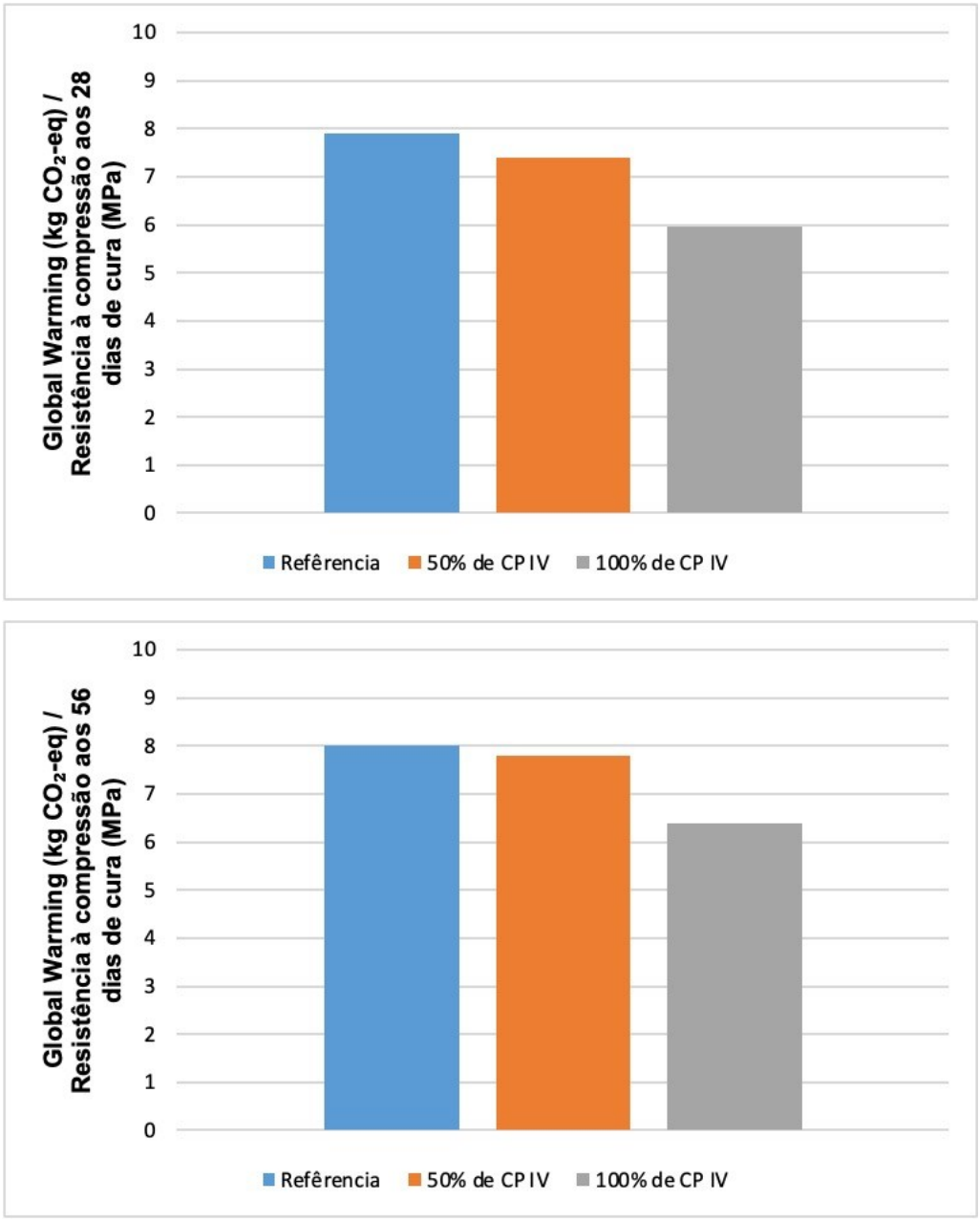
Fonte: o autor.

Com base na Tabela 5, conclui-se que o cimento utilizado em cada traço de concreto e o aditivo plastificante são os materiais que mais geram CO_{2eq}. Nota-se que o traço de concreto produzido com 100% de CP IV-32 RS é o que menos gerou CO_{2eq}, com 87,8kg a menos do que o traço de concreto produzido apenas com o CP II F-40. Embora a massa de aditivo plastificante represente menos de 1% do total, seu impacto ambiental específico é elevado devido ao processo industrial de produção de policarboxilatos. Assim, pequenas variações em seu consumo podem alterar o impacto final, especialmente em misturas com maior demanda de fluidez.

Pela necessidade de o concreto ser menos agressivo ambientalmente atendendo os critérios de resistência, também foi analisado a resistência à compressão (MPa) pela emissão de CO_{2eq} para cada mistura. Dessa forma, a Figura 3 permite analisar a sustentabilidade alinhada com o desempenho mecânico para as idades de 28 e 56 dias de cura.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8289

Figura 3: CO_{2eq} por unidade de resistência à compressão aos 28 e 56 dias de cura



Fonte: o autor.

É possível perceber que o traço composto com 100% de CP IV-32 RS também se destaca pela sua combinação entre desempenho ambiental e o desempenho mecânico para a idade de 28 dias de cura, se mostrando a melhor alternativa quando se considera os dois parâmetros. Além disso, é possível notar que, mesmo com os valores anormais de resistência mecânica encontrados para os resultados com 56 dias de cura, o concreto produzido somente com CP IV-32 RS mostrou novamente a melhor combinação entre desempenho mecânico e ambiental, já o concreto produzido com 50% de CP IV-32 RS apresentou um resultado semelhante ao traço referência, devido a sua menor resistência à compressão.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, verificou-se que todos os traços avaliados atingiram a resistência característica de projeto de 35 MPa, demonstrando que a substituição do cimento não comprometeu o desempenho mecânico do concreto. O traço com 50% de substituição apresentou resistência ligeiramente inferior ao traço referência, enquanto o traço com substituição total pelo CP IV-32 RS apresentou resultados próximos, evidenciando comportamento mecânico satisfatório. Essa constatação indica que o CP IV-32 RS pode ser utilizado em concretos estruturais sem prejuízo às propriedades essenciais de resistência.

A análise ambiental, realizada por meio da ACV, mostrou que o uso do CP IV-32 RS resultou em redução das emissões de CO_2 por metro cúbico de concreto produzido. Tal desempenho ambiental está diretamente relacionado ao menor teor de clínquer presente na composição do cimento pozolânico, o que reduz a demanda energética e as emissões de gases de efeito estufa durante sua fabricação. Assim, o traço com substituição total apresentou o melhor equilíbrio entre desempenho técnico e impacto ambiental.

Dessa forma, conclui-se que a substituição do cimento CP II F-40 pelo CP IV-32 RS é tecnicamente viável e ambientalmente vantajosa, configurando-se como uma alternativa sustentável para a produção de concreto usinado. A aplicação desse tipo de substituição contribui para a diminuição das emissões de carbono no setor da construção civil, sem comprometer o desempenho mecânico do material.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) pelo apoio financeiro concedido para a publicação deste artigo, referente ao Edital nº 08/2025 DIRPPG-PB – UTFPR.

DECLARAÇÃO

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

REFERÊNCIAS

[1] BIEHL, A.K.D. **Principais técnicas de execução e dimensionamento de reforço à flexão simples normal em lajes e vigas de concreto armado.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2015.

[2] NEVILLE, A.M. **Propriedades do Concreto.** 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

[3] SILVA, M.V.M.; GOMES, G.A.M. **Estudo comparativo dos concretos usinados e produzidos em obra de pequeno e médio porte em Lambari-MG.** Fundação de Ensino e Pesquisa do Sul de Minas. Lambari, 2021.

[4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7212:** Concreto dosado em central – preparo, fornecimento e controle. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

[5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655:** Concreto de cimento Portland – prepare, controle, recebimento e aceitação - procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

[6] ORNELAS, D.P. **Viabilidade do uso de escória de alto forno na substituição parcial do cimento Portland em concreto usinado.** Centro Universitário UNIFACIG. Manhuaçu, 2021.

[7] VOTORANTIM. Boletim técnico dos cimentos CP II F-40 e CP IV-32 RS. Rio Branco, 2025.

[8] BRASIL. Brasil se compromete a reduzir emissões de carbono e em 50% até 2030. Brasília, 2021.

[9] OLIVEIRA, Y.P.L. **Desafios do mercado de carbono após o acordo de Paris:** Uma revisão. Universidade Federal do Piauí. Teresina, 2022.

[10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768-1:** Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Parte 1: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

[11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738:** Concreto – procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

[12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16889:** Concreto – determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

[13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739:** Concreto – ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

[14] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E178: Standard practice for dealing with outlying observations. ASTM International, 2008.

[15] OLIVEIRA, D.N.S. **Produção de cimento para poço de petróleo a partir de cimentos Portland comerciais.** UFCG. Campo Grande, 2011.