



CONCRETO SUSTENTÁVEL - ESTUDO PARA A SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE CIMENTO PORTLAND POR CINZAS DE CARVÃO VEGETAL OU PALHA DE MILHO VERDE SECA NA FABRICAÇÃO DO CONCRETO COM TRAÇO 1:2:3

Aline Vitória Ziliotto de Lima
Rafael Damasceno
Nelson Cláudio Siqueira de Luca

Resumo

Este trabalho avalia a viabilidade técnica da substituição parcial do cimento Portland por materiais alternativos e sustentáveis — cinzas de carvão vegetal e palha de milho verde seca — na produção de concreto. A pesquisa busca reduzir as emissões de CO₂ associadas à fabricação do cimento e promover práticas mais sustentáveis na construção civil. Foram moldados seis corpos de prova: dois com concreto convencional, dois com substituição de 10% de cimento por cinzas de carvão vegetal e dois com substituição de 10% de cimento por palha de milho verde seca. Após 28 dias de cura, realizou-se o ensaio de compressão em máquina EMIC, avaliando resistência, módulo de elasticidade e relação tensão-deformação. O concreto convencional apresentou maior resistência (8,58 e 8,41 MPa), seguido pelo com cinzas (6,76 e 4,64 MPa). Os concretos com palha não ultrapassaram 0,1 MPa. Conclui-se que as cinzas possuem potencial técnico, enquanto a palha de milho não apresentou viabilidade estrutural.

Palavras-chave: Concreto; Sustentabilidade; Cinzas de carvão vegetal; Palha de milho; Substituição de cimento.

Abstract

This study evaluates the technical feasibility of partially replacing Portland cement with alternative and sustainable materials—charcoal ash and dried corn straw—in concrete production. The research aims to reduce CO₂ emissions associated with cement manufacturing and promote more sustainable practices in the construction industry. Six test specimens were molded: two with conventional concrete, two with 10% cement replaced by charcoal ash, and two with 10% cement replaced by dried corn straw. After 28 days of curing, compression tests were performed in an EMIC machine, evaluating strength, modulus of elasticity, and stress-strain relationship. Conventional concrete showed the highest strength (8.58 and 8.41 MPa), followed by that with ash (6.76 and 4.64 MPa). The straw-based concrete did not exceed 0.1 MPa. It is concluded that ash has technical potential, while corn straw did not show structural feasibility.

Keywords: Concrete; Sustainability; Charcoal ash; Corn husk; Cement replacement.

INTRODUÇÃO

O meio ambiente sofre um grande impacto com as atividades da indústria da construção civil. Conforme as pesquisas de Ribeiro e Dias (2013), Brasileiro e Matos (2015), Cortese et al. (2019) do total de recursos naturais extraídos, cerca de 50% são destinados ou relacionados para as atividades da construção civil.

No entanto, essa indústria se mantém responsável por aproximadamente 15% do produto interno bruto (PIB) brasileiro, além de gerar

62 empregos indiretos para cada 100 empregos diretos e é um setor que possibilita a diminuição do déficit habitacional com o aumento de infraestrutura, necessários ao progresso do país (Karpinsk et al., 2009).

Por conta dessa grande representatividade econômica da construção civil, é natural que esse setor seja também responsável por problemas ambientais. Aproximadamente 80% da energia usada na execução de um empreendimento é consumida pelo transporte dos materiais e sua produção, (TAKAOKA, 2011).

Dessa forma, todas as etapas, como a retirada de matérias-primas e a produção dos materiais para a construção, geram poluição. Embora o setor da construção seja responsável por prover melhorias de infraestrutura e moradia, através da construção de escolas, hospitais, rodovias, ferrovias e habitações, ele também é responsável pelo aumento do efeito estufa, dada a grande utilização de recursos naturais, geração de resíduos e emissão de gases poluentes, (TAKAOKA, 2011).

Um dos materiais mais importantes para a construção civil é o cimento, que também é o material artificial de maior consumo no mundo, gerando em sua produção uma grande quantidade de gases poluentes através da decomposição no calcário ao ser submetido a altas temperaturas, a produção de cerca de 560kg cimento é responsável por 440kg de CO₂ liberados no meio ambiente (AGOPYAN e JOHN, 2011).

Ainda segundo Agopyan e Jhon (2011), a emissão do CO₂ emitido na produção do cimento pode ser reduzido através da troca do clínquer pela escória de alto-forno, já que o clínquer é responsável pela emissão do dióxido de carbono na sua produção e a escória é adquirida através da fabricação do ferro gusa e materiais pozolâmicos no processo de calcinação das argilas. No cimento CP-II a porcentagem de clínquer varia entre 47% e 85%, no cimento CP-III essa porcentagem de clínquer cai para apenas 25%, onde é feita a substituição pela escória de alto-forno chegando a conter até 70% da massa do cimento. Tendo em vista que a necessidade energética para a moagem do cimento é baixa, a porcentagem de dióxido de carbono é reduzida, proporcionalmente, com 17 o

teor do clíquer. Dessa forma, a preferência por cimentos com menor porcentagem de clíquer como o CP-III e CP-IV é melhor para o meio ambiente.

Segundo Serra (2021), os estudos sobre a substituição parcial do cimento Portland por resíduos orgânicos são o início de uma melhora para a destinação de sobras agroenergéticas, entre elas destaca-se a palha de milho verde, que pode ser secada e triturada para ser misturada junto aos agregados, e complementando o aglomerante do concreto.

Já as cinzas de carvão vegetal, que também é um resíduo orgânico resultante da queima de carvão em usinas termelétricas por exemplo, também se incluem como possibilidade na substituição do CP no concreto. Segundo CUNHA et al. (2011) “os tratamentos convencionais são descarte em aterros e em lagoas, levando à introdução no ambiente de diversos compostos xenobióticos”, dessa forma, se a utilização na construção civil das cinzas de carvão vegetal for viabilizada, haverá uma redução considerável desse resíduo no meio ambiente.

Embora os resíduos da palha de milho verde e das cinzas de carvão vegetal venham de indústrias diferentes, os estudos para a sua integração na produção de concreto como substituto parcial do cimento Portland se tornam fundamentais de forma econômica e ambiental para o setor da construção civil.

MATERIAL E MÉTODO

Objetivo geral

O estudo que será apresentado tem como objetivo geral avaliar a viabilidade técnica da substituição parcial de cimento Portland por um material sustentável, sendo cinzas de carvão vegetal ou palha de milho, na produção do concreto, visando mitigar os impactos ambientais gerados pela produção de cimento na construção civil.

Objetivos específicos

- 1- Realizar a fabricação de 6 corpos de prova, sendo 2 corpos do concreto tradicional e 2 do concreto sustentável com cinzas de carvão vegetal e 2 com palha de milho;
- 2- Romper os corpos de prova na EMIC;
- 3- Comparar desempenho mecânico, tensão versus deformação destes dois materiais: concreto tradicional e o sustentável, através dos diagramas e gráficos.

Justificativa do estudo

Segundo a ONU (2024), a indústria da construção civil é uma das maiores responsáveis pelas emissões de gases de efeito estufa no mundo, sendo o cimento Portland um dos principais responsáveis por esse cenário devido ao seu alto consumo energético e à liberação de CO₂ durante o processo de fabricação. Diante disso, torna-se essencial buscar alternativas que contribuam para a redução do impacto ambiental associado à produção de concreto.

A substituição parcial do cimento por materiais orgânicos como a palha de milho verde seca e o carvão mineral representa uma oportunidade inovadora e sustentável para a engenharia civil. Esses materiais, além de serem de baixo custo e amplamente disponíveis, possuem potencial de reaproveitamento de resíduos agroindustriais e naturais, alinhando-se com os princípios da economia circular e da construção sustentável, conforme Serra et al (2021).

Este estudo se justifica pela necessidade urgente de desenvolver composições de concreto que sejam mais ecológicas, economicamente viáveis e que busquem manter ou até melhorar as propriedades físicas e mecânicas dos materiais convencionais. Além disso, a pesquisa contribui com o avanço do conhecimento técnico sobre materiais alternativos e promove práticas mais sustentáveis dentro da cadeia produtiva da construção civil e a possibilidade de seguimento com o tópico desse estudo por outros estudantes e pesquisadores.

Referencial teórico

Segundo Holcim (2010), os antigos romanos utilizavam uma mistura de cal, cinza vulcânica e pedra para produzir concretos utilizados em construções como o Panteão de Roma e o Coliseu. Esta técnica foi abandonada durante a idade média, mas foi retomada na Europa em meados século XVIII, quando as primeiras cimenteiras foram criadas. A descoberta do cimento Portland em 1824, por Joseph Aspdin, deu início à produção do concreto moderno, que consiste na mistura de cimento, água, agregados e aditivos. O uso do cimento Portland revolucionou a construção civil, permitindo a produção de estruturas cada vez maiores e mais complexas. O surgimento do aço armado no final do século XIX permitiu a produção de estruturas ainda mais resistentes, como pontes e edifícios. Além disso, a incorporação de fibras no concreto, desenvolvida na década de 1960, aumentou sua resistência à tração e diminuiu a tendência à fissuração.

Nos últimos anos, os estudos sobre o concreto têm se voltado para o aprimoramento de suas características e para a diminuição de seus efeitos no meio ambiente. O uso de aditivos, especialmente aqueles que possibilitam a formulação do concreto autoadensável, tem se tornado cada vez mais comum, assim como o emprego da nanotecnologia para aumentar sua resistência e durabilidade (LI, 2020). Embora o concreto tenha origens antigas, foi apenas no século XIX, com o surgimento do cimento Portland, que sua utilização se expandiu e passou por avanços significativos. Desde então, inúmeros progressos vêm sendo feitos com o objetivo de melhorar seu desempenho e torná-lo mais sustentável, sendo a pesquisa científica um elemento essencial nesse processo de evolução e inovação na construção civil.

Concreto com materiais orgânicos (Palha de milho e cinzas de carvão)

A história do concreto é mais antiga do que se imagina, tendo sido datadas as primeiras aparições dos primórdios do concreto feitas pelo homem acerca de mais de oito mil anos atrás, com os povos da região da Mesopotâmia utilizando uma mistura de argila e palha para criar um material resistente que quando secasse não esfarelasse, e na região da Síria e Jordânia utilizavam cal hidráulica

que endurecia em baixo da água gerando maior resistência depois de seco por volta do ano 6500 a.c. que apesar de edificações rudimentares a partir destas misturas, algumas resistem até os dias atuais (MATEUS, 2004).

Com o passar de milhares de anos a evolução constante do concreto vem se mostrando em diversos tipos de construções históricas que resistiram a inimagináveis eventos climáticos e antropológicos durante séculos. E com base nestas construções consegue-se estudar e analisar diversas formas de utilização e possibilidades de agregados para desenvolver cada vez mais este ramo primordial da construção civil. Com a evolução do concreto e a acessibilidade que acabou ganhando, sua presença passou a ser necessária em diversas construções o que fez com que fosse produzido cada vez mais concreto e por consequência a poluição e utilização exponencial de recursos para poder ser produzido e aplicado em seus objetivos, conforme apresentado por Li (2023).

Por volta da década de 70 e 80, uma nova ideia passou a ser difundida no mundo, a ideia da sustentabilidade, que acabou envolvendo todos os ramos de escalas industriais, e a construção civil não ficou de fora. Existem diversas formas de conciliar sustentabilidade com a construção civil no século XXI, entre elas pode se mencionar a variedade de tipos de concretos que podemos encontrar e aplicar em uma obra sem perder pontos importantes como resistência, durabilidade, economia e qualidade. Hoje existem 3 principais vertentes de agregados orgânicos para concretos, entre eles são: Bioconcreto, Concreto ecológico e o mais comum que seria o Concreto sustentável (LI, 2023).

Concreto com sabugo de milho.

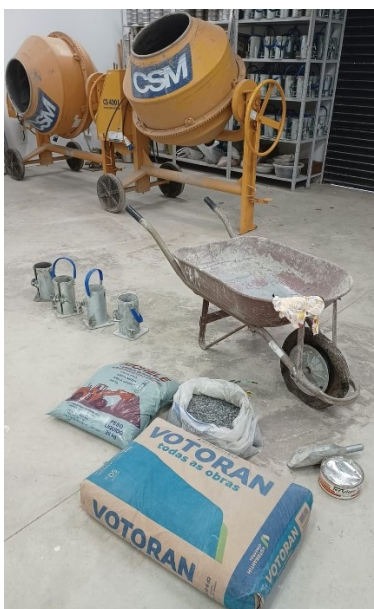
O bagaço do sabugo de milho pode ser usado em diversas formas no concreto, geralmente utilizado para complementar o concreto, deixando-o mais leve, podendo ser utilizados em paredes, isolamento e outras aplicações (SHAKOURI, 2020).

Concreto com cinzas de carvão vegetal

O concreto com cinzas de carvão vegetal também é uma opção para reduzir a emissão de carbono na construção civil, além de ajudar a amortecer a retração do concreto, deixando-o mais maleável para outras utilizações e contribuindo para a retenção de umidade em determinados tipos de obras, conforme apontado por On Chin et al. (2020).

Materiais e ferramentas utilizadas.

Para a preparação dos corpos de prova e o seu posterior rompimento foram utilizados os seguintes materiais: betoneira, carrinho de mão, cimento Portland CPII-Z-32, areia média, brita 0, balanças de precisão, colher de pedreiro, bandejas, peneiras, corpos de prova conforme ABNT NBR 5738:2015 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova, máquina de tração e compressão EMIC e bastão adensador para concreto. Esses materiais foram fundamentais para a execução dos testes.



Materiais utilizados



Corpos de prova do concreto sustentável com palha de milho verde seca.



Corpos de prova do concreto sustentável com cinzas de carvão vegetal.



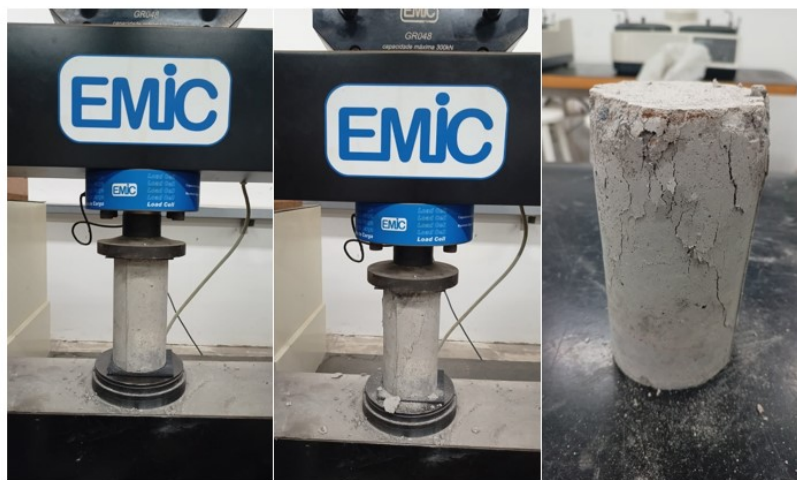
Corpos de prova do concreto convencional.

RESULTADOS E DISCUSSÕES OU REVISÃO DE LITERATURA

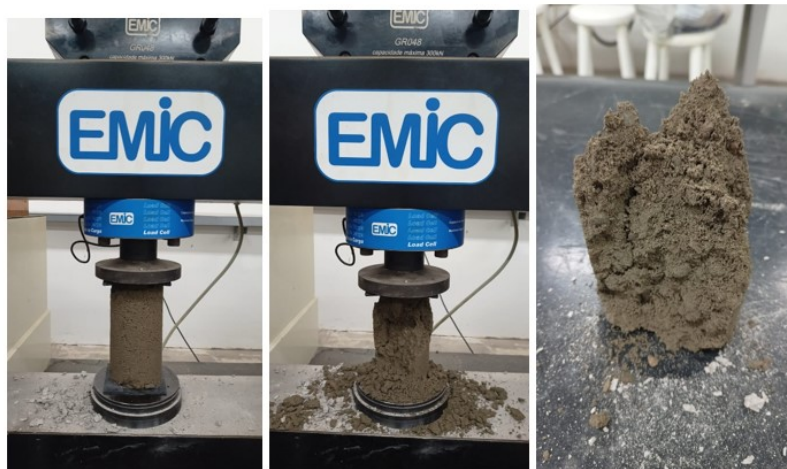
A partir do rompimento dos corpos de prova, foram elaborados os gráficos abaixo para a análise da resistência a compressão (MPa), força máxima (N) e módulo de elasticidade (GPa) dos corpos de prova, com o intuito de verificarmos individualmente os valores obtidos e realizar a comparação das substituições.



Corpo de prova em concreto convencional ensaiado no equipamento EMIC

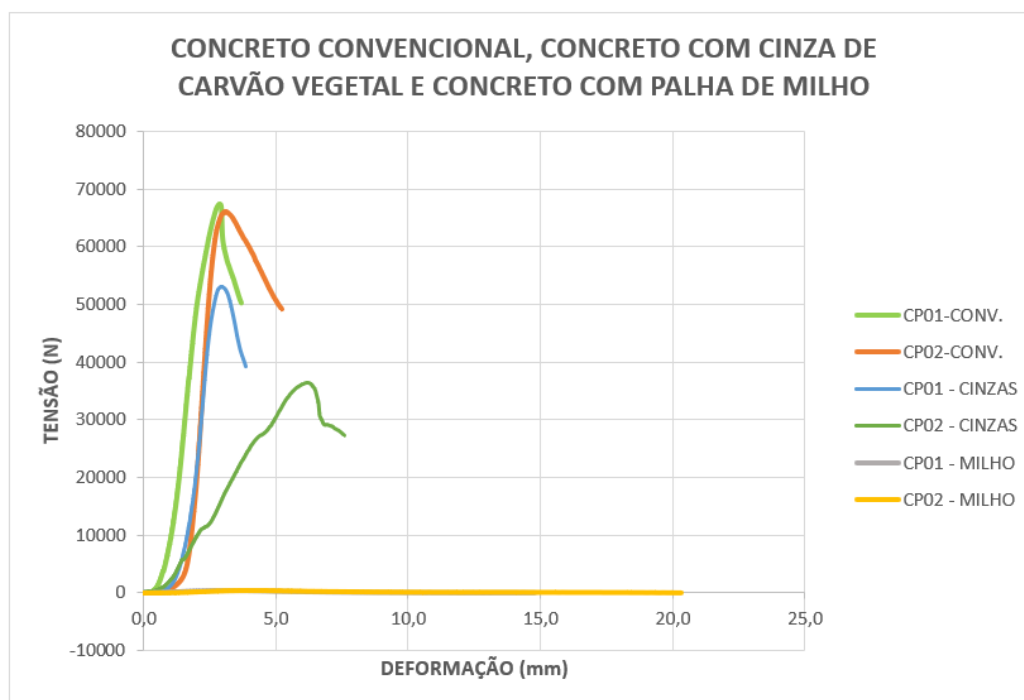


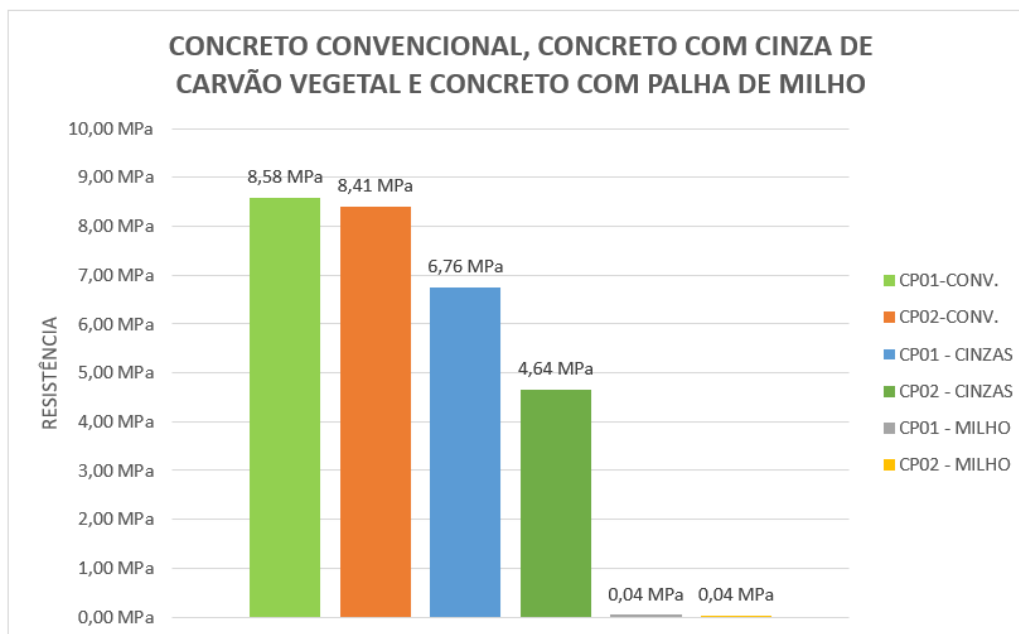
Corpo de prova em concreto sustentável com cinzas de carvão vegetal ensaiado no equipamento EMIC



Corpo de prova 1 em concreto sustentável com palha de milho verde ensaiado no equipamento EMIC

O gráfico a seguir apresenta a comparação de resistência à compressão de todos os corpos de prova. Observa-se que os concretos convencionais apresentaram as maiores resistências à compressão, com valores de 8,58 MPa e 8,41 MPa. A adição de cinza de carvão vegetal reduziu a resistência para 6,76 MPa e 4,64 MPa. Já os concretos com palha de milho apresentaram desempenho extremamente baixo, não chegando a atingir 0,1 MPa em ambos os corpos de prova.





CONCLUSÃO OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

O concreto sustentável busca reduzir o impacto ambiental da construção civil, substituindo total ou parcialmente alguns dos materiais convencionais por alternativas mais ecológicas ou menor quantidade de cimento, que foi o objetivo deste estudo. Essas substituições, embora benéficas para o meio ambiente, podem afetar algumas propriedades do concreto, como sua resistência à compressão, por exemplo.

Neste estudo foi possível verificar que a média das resistências à compressão dos corpos de prova em concreto convencional foi superior à dos concretos sustentáveis. No concreto convencional a resistência média foi de 8,49Mpa, a resistência média dos corpos de prova sustentável com substituição de 10% de cimento por cinzas de carvão vegetal foi de 5,70 Mpa e a resistência média dos corpos de prova sustentável com substituição de 10% de cimento por palha de milho foi de 0,04 Mpa.

Como resultado, houve uma redução da resistência à compressão em 32,86% do concreto sustentável com substituição de 10% de cimento por cinzas de carvão vegetal comparado ao concreto convencional e a resistência do concreto com palha de milho foi praticamente inexistente, comparada ao concreto convencional. Analisando apenas os melhores resultados dos corpos

de prova moldados, a resistência à compressão do corpo de prova em concreto convencional foi de 8,58 Mpa e a resistência do corpo de prova sustentável, com substituição de 10% de cimento por cinzas de carvão vegetal foi de 6,76 Mpa. Uma redução da resistência à compressão em 21,21% do concreto sustentável com substituição de 10% de cimento por cinzas de carvão vegetal comparado ao concreto convencional.

A principal razão para a menor resistência do concreto sustentável está na variabilidade e na menor reatividade dos materiais alternativos utilizados. Por exemplo, substitutos do cimento nem sempre têm o mesmo potencial de hidratação e desenvolvimento de liga que o cimento Portland tradicional, o que compromete a integridade estrutural do concreto.

No entanto, é importante destacar que os avanços tecnológicos e a pesquisa constante têm permitido o desenvolvimento de concretos sustentáveis com desempenho mecânico cada vez mais próximo ao do concreto convencional, o que demonstra a importância de darmos continuidade aos estudos científicos para que possamos encontrar o equilíbrio entre sustentabilidade e desempenho na construção civil.

Como sugestão para futuros estudos de concreto com cinzas de carvão, indicamos utilizar cinzas de carvão mineral, um rejeito muito comum das usinas termoelétricas e para concreto com palha de milho fazer um melhor controle da hidratação do concreto com materiais orgânicos e um tempo de cura maior que os 28 dias utilizado neste estudo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Prof. Me. Nelson Cláudio Siqueira de Luca pelo valioso auxílio durante o desenvolvimento deste trabalho de Iniciação Científica. Sua experiência e compromisso com o ensino aprendizagem foram fundamentais para o aprimoramento dos conhecimentos adquiridos e para a realização e sucesso deste estudo.

Referências

AGOPYAN, V.; JOHN, V. **O Desafio da Sustentabilidade na Construção Civil**. São Paulo: Blucher, 2011.

ANTONIOLI, P. E. **Estudo Crítico Sobre Subsídios Conceituais Para Suporte Do Planejamento De Sistemas De Gerenciamento De Facilidades Em Edificações Produtivas**. [s.l.] Dissertação (Mestrado em Engenharia), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo - SP, 2003.

Brasileiro, L. L.; Matos, J. M. E. **Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil**. Cerâmica, v. 61, n. 358, p. 178-189, 2015. <https://doi.org/10.1590/0366-69132015613581860>

CÍCERO, Ricardo. **6 tipos de areia para construção e quando usar cada uma delas**. 2024. Disponível em <https://blog.obramax.com.br/construcao-civil/tipos-areia/> Acesso em 07 de junho de 2025.

Cortese, T. T. P.; Coutinho, S. V.; Penha, V. M.; Buckeridge, M. S. **Tecnologias e sustentabilidade nas cidades. Estudos Avançados**, v. 33, n. 97, p. 137-150, 2019. <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2019.3397.008>

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GRUBBA, David. **Materiais de construção: Para gostar e aprender**. Editora Blucher, 2023.

HOLCIM. (2010). **History of cement**. Disponível em: <https://www.holcim.com.br/cem/historia-do-cimento>. Acesso em 08 de junho de 2025.

Karpinsk, A.; Pandolfo, R.; Reinehr, J.; Pandolfo, L.; Guimarães, J. **Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: uma abordagem ambiental**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2009.

KIBERT, C. J. Establishing **Principles and a Model for Sustainable Construction**. In: Sustainable Construction. Tampa - FL: CIB TG, 1994. p. 3–12.

LI, Z. **Desenvolvido um concreto que captura carbono em vez de emití-lo**. Universidade Estadual de Washington, EUA, 2023. Disponível em: <https://www.examplelink.com>. Acesso em: 14 de abril de 2025.

MINERE. Instituto. **Os diferentes tipos de brita e suas utilidades**. Disponível em <https://institutominere.com.br/os-diferentes-tipos-de-brita-e-suas-utilidades/#:~:text=%C3%89%20mais%20indicada%20para%20a,aterros%2C%20lastros%20ferrovi%C3%A1rios%20e%20drenos.&text=Esses%20dois%20tip>

os%20de%20brita,mm%20para%20a%20brita%205). Acesso em 07 de junho de 2025.

MATEUS, R. **Novas tecnologias construtivas com vista à sustentabilidade da construção**. [s.l.] Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Departamento de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga, 2004.

NASCIMENTO, E. P. DO. **Trajetória da sustentabilidade: do ambiental ao social, do social ao econômico**. Estudos Avançados, v. 26, n. 74, p. 51–64, 2011.

NEVILLE, Adam. **Propriedades do concreto**-5ª Edição. Bookman Editora, 2015.

ON CHIN, C.; YANG, X.; KONG, S. I.; PAUL, S. C.; SUSILAWATI; WONG, L. S. **Propriedades mecânicas e térmicas de concreto leve incorporado com carvão ativado como agregado graúdo**. Bangladesh - Malásia, 2020.

ONU. **Emissões globais do setor de construção ainda são altas e continuam crescendo**. Nairóbi, 2024. Disponível em <https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/comunicado-de-imprensa/emissoes-globais-do-setor-de-construcao-ainda-sao> Acesso em 07 de junho de 2025.

PORTO, Thomás Monteiro Sobrino. **Estudo dos avanços da tecnologia de impressão 3D e da sua aplicação na construção civil**. Trabalho Final de Graduação. UFRJ, Rio de Janeiro, v. 9, 2016.

Ribeiro, F. A. B. S.; Dias, J. F. **Análise da atividade de transporte, triagem e transbordo de RCD em Uberlândia/MG**. Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades, v. 1, n. 5, p. 69-87, 2013. <https://doi.org/10.17271/23188472152013514>

SERRA. Juan Carlos Valdés; VERONESE. Renato Baiochi Alves; MOREIRA. Karla Cristina Bente; LOPES. Shara Carvalho. **Potencial de utilização de resíduos agroenergéticos na produção de concreto**. Revista de Engenharia e Tecnologia, 2021. Disponível em <https://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/view/18053/209209215359> Acesso em 07 de junho de 2025.

SHAKOURI, Mahmoud. **Pretreatment of corn stover ash to improve its effectiveness as a supplementary cementitious material in concrete. Cement and Concrete Composites**. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2020.103658>.

SILVA, Fabiana Maria da et al. **Avaliação da resistência mecânica de pisos intertravados de concreto sustentáveis (PICS)**. Matéria (Rio de Janeiro), v. 22, p. e11778, 2017.

SILVA, Valdeir Tavares da Silva. **Estudo da substituição da areia natural por pó de pedra na produção de concreto convencional**. Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil, 2018.

TAFAREL, Nathann Francisco et al. **Avaliação das propriedades do concreto devido à incorporação de lodo de estação de tratamento de água**. Matéria (Rio de Janeiro), v. 21, p. 974-986, 2016.

TAKAOKA, M. Prefácio. In: AGOPYAN, V.; JOHN, V. **O Desafio da Sustentabilidade na Construção Civil**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda., 2011.

TEIXEIRA, Regiane Farias; ANDRADE, Paulo César; BONIFÁCIO, Elton Diêgo. **Análise estatística da resistência a compressão do concreto**. Revista da Universidade Vale do Rio Verde, v. 13, n. 1, p. 635-643, 2015.