



**unifaema**

**CENTRO UNIVERSITÁRIO FAEMA – UNIFAEMA**

**LUCAS SILVÉRIO VIEIRA**

**MATERIAIS INOVADORES EM SUBSTITUIÇÃO DO CIMENTO NA  
CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA REVISÃO INTEGRATIVA**

**ARIQUEMES – RO  
2024**

**LUCAS SILVÉRIO VIEIRA**

**MATERIAIS INOVADORES EM SUBSTITUIÇÃO DO CIMENTO NA  
CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA REVISÃO INTEGRATIVA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário FAEMA – UNIFAEMA como pré-requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador (a): Prof. Dr. Roemir Peres Machado Moreira.

**ARIQUEMES - RO  
2024**

**FICHA CATALOGRÁFICA**  
**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

V657m Vieira, Lucas Silvéria.

Materiais inovadores em substituição do cimento na construção civil: uma revisão integrativa. / Lucas Silvério Vieira. Ariquemes, RO: Centro Universitário Faema – UNIFAEMA, 2024.

53 f. ; il.

Orientador: Prof. Dr. Roemir Peres Machado Moreira.

Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado em Engenharia Civil – Centro Universitário Faema – UNIFAEMA, Ariquemes/RO, 2024.

1. Cimento. 2. Construção Civil. 3. Materiais Alternativos. I. Título. II. Moreira, Roemir Peres Machado.

CDD 624

**Bibliotecária Responsável**  
Isabelle da Silva Souza  
CRB 1148/11

## LUCAS SILVÉRIO VIEIRA

### MATERIAIS INOVADORES EM SUBSTITUIÇÃO DO CIMENTO NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA REVISÃO INTEGRATIVA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário FAEMA – UNIFAEMA como pré-requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador (a): Prof. Dr. Roemir Peres Machado Moreira.

#### BANCA EXAMINADORA

Assinado digitalmente por: ROEMIR PERES  
MACHADO MOREIRA  
Razão: Sou Responsável pelo Documento  
Localização: UNIFAEMA - Ariquemes/RO  
O tempo: 21-11-2024 22:03:40

---

Prof. Dr. Roemir Peres Machado Moreira  
Centro Universitário FAEMA - UNIFAEMA

LINCOLN  
SOUZA  
LOPES



Assinado digitalmente por LINCOLN SOUZA  
LOPES  
ND: C=BR, S=Rondonia, L=Ariquemes, O=Centro  
Universitario Faema - UNIFAEMA, CN=LINCOLN  
SOUZA LOPES, OU=LINCOLN SOUZA LOPES  
Razão: Eu sou o autor deste documento  
Localização:  
Data: 2024.11.21 21:59:55-04'00'  
Foxit PDF Reader Versão: 2024.1.0

---

Prof. Me. Lincoln de Souza Lopes  
Centro Universitário FAEMA - UNIFAEMA

Assinado digitalmente por GUSTAVO NAZARKO FERREIRA DE  
SOUZA  
Razão: Eu estou aprovando este documento  
Localização: UNIFAEMA - ARIQUEMES, RO  
Data: 2024.11.21 16:05:30-04'00'

---

Prof. Esp. Gustavo Nazarko Ferreira De Souza  
Centro Universitário FAEMA - UNIFAEMA

ARIQUEMES – RO  
2024

Dedico este trabalho aos meus pais, familiares e amigos, que me apoiaram e incentivaram a seguir em frente com meus objetivos.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente à Deus, por sempre me abençoar e me proteger.

Agradeço aos meus pais, em especial minha mãe, por todos os sacrifícios que fizeram por mim.

Agradeço a todos meus professores que proporcionaram a construção do conhecimento ao longo da minha graduação.

Agradeço ao meu orientador Professor Doutor Roemir Peres Machado Moreira, por todas as orientações e dedicação para elaboração deste trabalho.

Agradeço a todos os colegas e amigos que fiz durante o curso, pelo apoio e companheirismo ao longo desses anos.

*“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.”*

*(Charles Chaplin)*

## RESUMO

Dentre os setores econômicos, a construção civil corresponde a um dos que mais impactam no meio ambiente, emitindo grandes quantidades de poluentes e gerando uma grande quantidade de resíduos sólidos. Neste cenário, o cimento configura-se um dos principais materiais de construção que contribuem para tal índice. Diante dos desafios ambientais associados à produção de cimento, que contribui significativamente para as emissões de dióxido de carbono, torna-se essencial explorar alternativas sustentáveis que possam amenizar esse dano ecológico causado na produção do mesmo. Diante do contexto apresentado, o intuito deste trabalho consiste em identificar os principais materiais utilizados em substituição ao cimento. Para tanto, utilizou-se como metodologia a revisão integrativa da literatura a partir da seguinte questão norteadora: Quais são os principais materiais utilizados em substituição ao cimento evidenciado na literatura no período de 2014-2024? Os resultados da pesquisa apontaram que os principais materiais para substituição do cimento foram a cinza da casca de arroz e o bagaço da cana-de-açúcar. Também foi observado que nesse delineamento temporal foram encontrados materiais suficientes para realização deste estudo, o que não exclui a necessidade de fomento à pesquisas que envolvam a temática em questão.

**Palavras-chave:** Cimento; Construção Civil; Materiais Alternativos.

## **ABSTRACT**

Among the economic sectors, civil construction corresponds to one of those that most impacts the environment, emitting large quantities of pollutants and generating a large amount of solid waste. In this scenario, cement is one of the main construction materials that contribute to this index. Given the environmental challenges associated with cement production, which significantly contributes to carbon dioxide emissions, it is essential to explore sustainable alternatives that can mitigate this ecological damage caused by its production. Given the context presented, the aim of this work is to identify the main materials used to replace cement. To this end, an integrative literature review was used as a methodology based on the following guiding question: What are the main materials used to replace cement evidenced in the literature in the period 2014-2024? The research results showed that the main materials for replacing cement were rice husk ash and sugar cane bagasse. It was also observed that in this time frame, sufficient materials were found to carry out this study, which does not exclude the need to promote research involving the topic in question.

**Keywords:** Cement; Civil Construction; Alternative Materials.

## LISTA DE FIGURAS, GRÁFICOS E QUADROS

Figura 1 - Pesquisas parametrizadas em português na plataforma de busca Google Acadêmico.....	26
Figura 2 - Pesquisas parametrizadas em inglês na plataforma de busca Google Acadêmico.....	27
Figura 3 - Pesquisas parametrizadas em português na plataforma de busca <i>Web of Science</i> .....	27
Figura 4 - Pesquisas parametrizadas em inglês na plataforma <i>Web of Science</i> .....	28
Gráfico 1 - Relação quantidade x procedência das pesquisas parametrizadas por base de dados.....	29
Gráfico 2 - Relação quantidade x ano publicação das pesquisas encontradas em inglês.....	30
Gráfico 3 - Relação quantidade x ano publicação das pesquisas encontradas em português.....	30
Quadro 1 - Pesquisas selecionadas na base de dados do <i>Web of Science</i> .....	32
Quadro 2 - Pesquisas selecionadas na base de dados do <i>Google Acadêmico</i> .....	38

## **LISTA DE SIGLAS**

ABCP Associação Brasileira de Cimento Portland

CBC Cinza de bagaço-de-cana de açúcar

CCA Cinza de casca de arroz

Conab Companhia Nacional de Abastecimento

SNIC Sindicato Nacional da Indústria do Cimento

## Sumário

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	14
1.2 OBJETIVOS .....	15
1.2.1 Geral .....	15
1.2.2 Específicos .....	15
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>16</b>
2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA .....	16
2.2 ALTERNATIVAS PARA SUBSTITUIÇÃO AO CIMENTO .....	17
2.2.1 O bagaço da cana-de-açúcar como alternativo cimentício .....	18
2.2.2 A cinza da casca de arroz e seu potencial na construção civil .....	21
2.2.3 Biopolímeros usados em substituição ao cimento .....	23
2.2.4 O uso de geopolímeros como alternativa cimentício .....	24
2.2.5 Nanoaditivo empregado como rota ao cimento .....	24
<b>3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> .....	<b>26</b>
3.1 COLETA DE DADOS .....	26
3.2 ANÁLISE DE DADOS .....	26
<b>4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DA PESQUISA</b> .....	<b>29</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>46</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>48</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>54</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O cimento é um dos produtos mais utilizados no mundo e sua demanda vem aumentando cada vez mais. Conforme Abrão (2019), a produção de cimento deverá crescer nos próximos 40 anos e esta crescente produção será responsável pela emissão de um grande volume de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera.

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) (2022), a indústria cimenteira, globalmente, responde por cerca de 7% de todo o CO<sub>2</sub> equivalente emitido pela ação humana. Já no Brasil, a participação do setor nas emissões nacionais é de 2,3%, cerca de um terço da média mundial.

De acordo com dados do Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC) (2022), há cerca de 93 fábricas produtoras de cimento no Brasil, distribuídas entre 82 municípios em 23 estados, com uma produção em 2022 de 63,5 milhões de toneladas e consumo aparente de 62,8 milhões de toneladas, no mesmo ano.

A origem do “cimento” se deu há cerca de 4.500 anos e, seu desenvolvimento industrial, surgiu em meados do século XVIII, quando pesquisadores produziram um método para obter cimento hidráulico (cimento com resistência a água). Em 1824 o inglês Joseph Aspdin patenteou o processo de fabricação de um material ligante resultado da mistura e processamento de calcário e argila conhecido mundialmente como “cimento Portland”. Tal nome se deve às suas características que são semelhantes a uma grande pedra esquadrejada na ilha de Portland (Sindicato Nacional da Indústria do Cimento, 2006)

Atualmente, a construção civil é uma das atividades com maior impacto no meio ambiente, emitindo grandes quantidades de poluentes, e gerando uma grande quantidade de resíduos sólidos. Tendo em vista que o cimento é um dos principais materiais da construção, possuindo um elevado consumo mundial ficando atrás apenas da água, este é tratado como um elemento essencial para a construção civil (Schneider, 2011).

A indústria da construção utiliza cerca de 40% a 75% dos materiais virgens extraídos e gera uma quantidade proporcional de resíduos, com a demanda por recursos naturais aumentando anualmente (John, 2000).

Segundo Lafuente Junior (2012), os resíduos tornaram-se um dos principais problemas urbanos, causando impactos sociais, econômicos e de saúde. Assim, é

crucial que as empresas adotem estratégias para minimizar o volume e a toxicidade desses resíduos.

O aumento na demanda do cimento em parte está atrelado a produção de um derivado deste: o concreto. Este material constituído por água, agregado e cimento, destaca-se como um dos materiais mais usados na construção civil por sua facilidade de produção e pelo baixo custo da mão de obra. Contudo, sua fabricação requer uma alta quantidade de recursos não renováveis, o que provoca o acúmulo de resíduos sólidos e gera impactos ambientais relevantes. Desta forma, pesquisadores têm se debruçado em estudos voltados para o desenvolvimento deste material de maneira sustentável, uma vez que o uso de materiais reciclados na fabricação de concreto tem demonstrado reduzir o consumo de recursos naturais (Freitas et al., 2021).

Para avançar em direção ao crescimento sustentável, é necessária uma grande revolução no setor de cimento e concreto para reduzir a poluição ambiental, especialmente as emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), (Junaid et al., 2021).

As emissões associadas à produção de Cimento Portland podem ser diminuídas ao se adotar alternativas ou ao substituir parcialmente o cimento na fabricação de concreto. Diante da atual ênfase global na conscientização ambiental, as indústrias devem focar em alcançar a sustentabilidade por meio da otimização de recursos e da gestão eficiente dos resíduos gerados (Gopinath et al., 2018).

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Tendo em vista o aumento no consumo de materiais cimentícios e os impactos associados à sua produção, torna-se essencial compreender métodos alternativos ao mesmo disponíveis no mercado, levando em consideração não apenas a relevância ambiental, mas também a relevância econômica e de desempenho desses materiais inovadores e sustentáveis que podem revolucionar a indústria da construção.

Sendo assim, justifica-se a escolha do tema evidenciando que conhecer as propostas de substitutos para tal material promove não apenas a significativa redução das emissões de CO<sub>2</sub>, mas também a drástica diminuição do consumo de recursos naturais e a notável melhoria da durabilidade das estruturas construídas, resultando em um panorama mais promissor para o meio ambiente e a qualidade de vida das comunidades ao redor do mundo.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Geral

Identificar os principais materiais utilizados em substituição ao cimento publicado na literatura no período de 2014 à 2024.

### 1.2.2 Específicos

- Avaliar a aplicação dos materiais alternativos ao cimento;
- Discutir os principais autores que versam sobre a temática;
- Evidenciar a atuação do engenheiro civil frente as pesquisas no desenvolvimento de materiais em substituição ao cimento.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA

Ao retratar a história de materiais com características cimentícias, deve-se remontar aos registros dos antigos romanos, com a criação da mistura de cal, pozolana, água e rocha vulcânica, gerando um material altamente durável. Com essa mistura foi possível a construção de grandes edificações, como o Panteão e aquedutos. Através da criação desse material pelos romanos, introduziu-se as bases do que é aplicado nos dias atuais na engenharia moderna para material cimentício. (O'Brien, 2003).

Após a queda do Império Romano, o conhecimento sobre o processo de fabricação desse modelo de cimento entrou em esquecimento, tendo sua retomada de evidência somente no século XVIII, com a chegada da Revolução Industrial. Um dos motivos para tal retomada foi a necessidade do desenvolvimento de um cimento que pudesse resistir às ações de intemperes ambientais. Com isso, foi elaborado uma mistura cimentícia associada a cinza vulcânica (Hawkins, 2010).

Ainda neste cenário, surge um importante nome para o retorno do cimento no setor da construção civil como um todo, Joseph Aspdin, que foi responsável pela patente do “cimento Portland” em 1824. A produção do cimento por Aspdin foi realizada através da queima de uma mistura entre argila e calcário, resultando em um produto com propriedades ligantes superiores, o que permitiria a partir daquele momento a criação de estruturas maiores e mais resistentes, influenciando diretamente na revolução da construção civil mundial (McGowan, 2000).

Ao longo dos séculos XIX e XX, o crescimento das cidades geraram uma grande demanda por construção em larga escala, tendo o cimento Portland como um dos principais materiais a serem empregados. A partir disso, a empregabilidade do cimento em pontes e barragens, assim como edifícios só fortificou o simbolismo de progresso e modernização que o cimento trouxe a sociedade como um todo. (Mehta & Monteiro, 2014).

Com base nisso, entende-se que a evolução do cimento até os dias atuais está relacionada não somente ao crescimento da construção civil, como também, diretamente ao desenvolvimento da sociedade como um todo. Tal fato pode ser

evidenciado através das transformações econômicas mundiais geradas em todos os outros setores da economia (McGowan, 2000).

Os primeiros cimentos utilizados nas construções no Brasil eram importados, tendo a Bélgica como o principal exportador. Porém, com o progresso do país e, o avanço nos canteiros de obras, ocorreu a necessidade de criar fábricas produtoras de Cimento Portland no intuito de suprir a demanda local. Por exemplo, na década de 1920, o país já possuía cinco fábricas produtoras de Cimento Portland (Marcolin, 2006).

Ainda de acordo com Marcolin (2006), o uso do concreto e a técnica de concreto armado, acabou tendo um papel fundamental na construção de obras de saneamento e melhoria da qualidade de vida da população. Em Santos, principal cidade de entrada de produtos importador, foram realizadas as primeiras obras com uso de tal técnica, voltadas para a área de infraestrutura.

O uso do cimento tornou-se um símbolo da civilização nos dias atuais, pois desde o início do século XX tem sido a solução, tanto econômica quanto escalável para problemas de moradia, além de possibilitar a execução de grandes obras da engenharia moderna. Contudo, a fabricação do cimento acaba trazendo impactos negativos ao meio ambiente e, por extensão, saúde humana. Com isso, a busca por mecanismos alternativos tem se tornado relevante na indústria da construção civil (Maury; Blumenschein, 2012).

## 2.2 ALTERNATIVAS PARA SUBSTITUIÇÃO DO CIMENTO

A indústria da construção tem se expandido rapidamente nos últimos anos, tornando-se uma das principais responsáveis pela degradação dos ecossistemas, poluição ambiental e geração de resíduos. Conforme destacam Ribeiro Filho et al. (2006), o setor de obras de infraestrutura consome 75% dos recursos naturais do planeta. Diante desse crescimento acelerado e da falta de atenção à preservação ambiental, surgiu a urgência de implementar práticas de desenvolvimento sustentável na construção civil.

Neste contexto, os resíduos industriais como pozolanas, cinzas volantes de carvão, sílica ativa e resíduos agrícolas, como cinzas de casca de arroz e cinza de bagaço-de-cana de açúcar (CBC), são frequentemente utilizados como bases de

estudos visando mitigar os impactos causados pelo setor (Frías; Villar; Savastano, 2011).

A agricultura contribui para a sustentabilidade econômica, ambiental e social global. Além disso, plantas absorvem silicato do solo, tornando seus resíduos pozolânicos e adequados como materiais cimentícios suplementares no concreto (Blandford, 2011).

As pozolanas tem capacidade de reagir com o hidróxido de cálcio liberado durante o processo de hidratação do cimento, formando compostos como os silicatos e aluminatos de cálcio hidratados. A cinza do bagaço-de-cana de açúcar apresenta boas propriedades pozolânicas e contém sílica amorfa (Martirena, et al., 1998).

A lentidão da reação pozolânica da cinza de carvão provoca um aumento gradual na resistência do concreto, sendo que melhorias significativas são observadas normalmente entre 28 e 90 dias. Além disso, níveis de substituição acima de 20% podem impactar o processo de hidratação, resultando em um ganho de resistência mais lento e afetando negativamente a resistência à compressão, à tração e à flexão do material (Martirena, et.al., 1998).

Como já mencionado, as indústrias de cimento são responsáveis por cerca de 7% da emissão de gás carbônico no ar, influenciando diretamente no aquecimento global. Uma rota para diminuir tais impactos ambientais, advêm da utilização dos resíduos orgânicos, uma vez que estes podem ser usados como matéria-prima para fazer novos produtos, já que são produzidos em grandes quantidades e estão sempre disponíveis (Castaldelli, 2013).

### **2.2.1 O bagaço da cana-de-açúcar como alternativo cimentício**

Em geral, materiais como aço, concreto e outros, oriundos da construção, são considerados materiais com altos níveis de carbono, pelo fato do processo de fabricação emitir grandes volumes de poluentes na atmosfera (Tran; Satomi; Takahashi, 2018).

Para Schneider (2011), a estimativa é que uma tonelada de cimento Portland produzida libere uma tonelada de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Uma das formas de diminuir o impacto ambiental que o cimento traz ao mundo, é a substituição parcial por materiais cimentícios suplementares, muitas vezes provenientes de indústrias ou resíduos.

A cana-de-açúcar, originária do sudeste asiático, é cultivada no Brasil desde a colonização portuguesa, quando foi introduzida em 1532 por Martin Afonso de Sousa. A região da zona da mata nordestina se tornou o principal polo de produção. Desde então, a cana-de-açúcar tem se tornado cada vez mais relevante para o país (BRASIL, 2007).

Pesquisas indicam que cada tonelada de cana-de-açúcar produz cerca de 6 kg de cinzas. Considerando a safra de 2019/20, com uma produção de 642.717,8 toneladas, estima-se que cerca de 4 mil toneladas de cinzas foram geradas no Brasil. Historicamente, parte dessas cinzas é reaplicada ao solo como fertilizante, enquanto outra parte é destinada a aterros, sem utilização adicional na cadeia produtiva (Brasil, 2020).

O gerenciamento adequado das cinzas do bagaço de cana-de-açúcar (CBC) representa um desafio para os administradores das usinas. A fuligem produzida é coletada através de métodos de lavagem e decantação, e se junta à cinza da caldeira, formando os resíduos finais do processo industrial. Infelizmente, não há como diminuir a quantidade desses resíduos (Ganesan et al., 2007).

Segundo dados da Federação das Indústrias do Estado de São Paulo / Centro das Indústrias do Estado de São Paulo (Fiesp/Ciesp) (2001), uma tonelada de cana-de-açúcar gera 260 kg de bagaço, e uma tonelada de bagaço queimado, resulta em 24 kg de cinza. Normalmente, essas cinzas são empregadas como fertilizante nas plantações, porém, de acordo com estudos realizados pela Embrapa, elas não contêm os minerais necessários para essa função, pois apresenta uma grave falta de potássio, que é o principal nutriente para o cultivo da cana-de-açúcar (Lima et al., 2012).

Para encontrar alternativas para o alto volume de resíduos da indústria sucroalcooleira, vários estudos estão sendo conduzidos para aproveitar o bagaço e as cinzas da cana-de-açúcar. Há um esforço significativo no desenvolvimento de tecnologias que reintroduzam esses materiais na cadeia produtiva, trazendo vantagens na redução dos impactos ambientais e nos custos de tratamento e descarte, além de criar novas oportunidades econômicas (Matos et al., 2020).

A utilização de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar como aditivo para o cimento Portland tem se mostrado uma alternativa promissora, especialmente em países onde a produção de outros materiais, como cinzas volantes, escórias de alto forno e pozolanas naturais, é limitada. Pesquisas indicam que a adição de cinzas do

bagaço de cana-de-açúcar melhora a reologia, durabilidade e propriedades mecânicas do concreto, além de ajudar a reduzir a emissão de dióxido de carbono na atmosfera ao permitir a substituição parcial do cimento Portland (Cordeiro; Kurtis, 2017).

A crescente adição de cinzas em concretos deve-se à sua alta reatividade com a cal. Resíduos de cana-de-açúcar, quando calcinados a temperaturas superiores a 600°C, mostram atividade pozolânica eficaz. No Brasil, a produção anual de cinzas do bagaço de cana é superior a 2,5 milhões de toneladas, o que corresponde a 6% da produção de cimento do país, sendo geradas durante a queima do bagaço nas usinas (Faria *et al.* 2012).

Cordeiro e Kurtis (2017) afirmam que, para otimizar a reatividade pozolânica da cinza do bagaço de cana-de-açúcar, é fundamental moer as cinzas adequadamente. Isso permite que uma quantidade maior de cinza reaja com o hidróxido de cálcio.

Os tijolos de solo-cimento apresentam baixo custo de produção e aos poucos vem destacando-se como uma opção para construções futuras, principalmente pelo fato de não se gerar queima em sua produção, tornando-os ambientalmente aceitáveis (Rodrigues; Holanda, 2015).

Com base em estudos e técnicas comprovadas, é viável produzir tijolos a partir das cinzas do bagaço da cana-de-açúcar, já que essa cinza pode ser usada como um aditivo mineral, substituindo parte do cimento em argamassas e concretos (Cordeiro, 2008).

Segundo John (2000), a sílica é a espécie atômica mais comum do planeta. A sílica que se encontra presente na cinza do bagaço de cana-de-açúcar resulta em vários benefícios, sendo os principais, a resistência e durabilidade.

De acordo com Canova (2015), as cinzas geradas a partir do bagaço da cana-de-açúcar possuem uma quantidade considerável de sílica ( $\text{SiO}_2$ ), comparável à da areia de rio. Essa característica possibilita sua utilização como aditivo mineral em misturas cimentícias, podendo substituir parcialmente o cimento ou os agregados finos. Assim, as cinzas se tornam uma alternativa viável na construção civil.

### **2.2.2 A cinza da casca de arroz e seu potencial na construção civil**

O arroz corresponde a um dos grãos mais consumidos no mundo. No Brasil, somente em 2018, foram colhidas 11,7 milhões de toneladas, destacando-se como o

principal produtor de arroz no Mercosul. O estado do Rio Grande do Sul é responsável pela maior parte dessa produção. Contudo, essa grande colheita resulta em um considerável volume de cascas, que representam cerca de 20% do peso do grão, podendo ser aproveitadas de várias maneiras, assim como as cinzas geradas pela queima dessas cascas (Da Silva et al., 2021).

A casca de arroz é formada predominantemente por fibras de celulose, com cerca de 20% de sílica em sua estrutura amorfa. Aproximadamente 40% de sua composição é celulose, enquanto 30% é lignina, além de conter proteínas e vitaminas que geralmente são perdidas durante a queima (Christopher et al., 2017).

A casca de arroz *in natura* apresenta uma massa unitária de cerca de 101 kg/m<sup>3</sup>, uma massa específica aparente de aproximadamente 900 kg/m<sup>3</sup> e uma massa específica de cerca de 1400 kg/m<sup>3</sup> (Agopyan, 1991).

A cinza da casca de arroz pode ser produzida por diferentes métodos de queima, que incluem o artesanal, semi-industrial e industrial. No método artesanal, a queima ocorre sem controle de temperatura; no semi-industrial, utiliza-se dutos metálicos para a incineração; enquanto no processo industrial, a pressão de vapor é regulada durante a queima (Martins, 2020).

Na área da construção civil, existem diversas aplicações para uso da casca de arroz e sua cinza. A conversão da casca de arroz em energia por meio da combustão é uma alternativa que se mostra tecnicamente viável, economicamente sustentável e ecologicamente responsável (Foletto et al., 2005).

Na última década, o Brasil produziu cerca de 12 milhões de toneladas de arroz, sendo que 8 milhões vieram apenas do Rio Grande do Sul, segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab, 2017). No entanto, para cada 4 toneladas de arroz, são geradas 1 tonelada de casca (o primeiro resíduo produzido na produção do arroz). A queima dessa casca produz energia, que gera outro resíduo, chamado cinza de casca de arroz (CCA) (Ali et al., 1992).

Pesquisas no Brasil e em outros países estão sendo feitas para utilizar a cinza de casca de arroz na construção civil. Essa cinza pode melhorar as propriedades e a durabilidade do concreto e da argamassa ou até substituir o cimento Portland, que é uma das principais fontes de emissões de CO<sub>2</sub> (Marangon et al., 2021).

De acordo com Mehta (1992), é possível substituir até 70% do cimento em um concreto comum por cinza de casca de arroz. No entanto, para ter benefícios e aumentar a resistência, basta substituir de 10% a 20%. Nesses níveis, a resistência

mecânica melhora e a permeabilidade a agentes agressivos, como cloretos, sulfatos e CO<sub>2</sub>, diminui, sem causar efeitos negativos ao concreto.

A cinza da casca de arroz é um resíduo agroindustrial gerado pela queima da casca de arroz e possui um alto poder calorífico de aproximadamente 16.720 kJ/kg. Por isso, é uma fonte alternativa de energia, amplamente utilizada na indústria, tanto para a secagem e parboilização de grãos quanto em outras atividades (Pouey, 2006).

Pesquisas indicam que a utilização da Cinza da Casca de Arroz pode melhorar as propriedades mecânicas e a durabilidade do concreto, além de diminuir a temperatura de hidratação. Também, a CCA é uma boa alternativa como fonte de sílica ativa, devido às suas qualidades excepcionais (Cordeiro et al., 2009).

A adição da Cinza da Casca de Arroz altera a microestrutura da pasta de cimento, funcionando fisicamente como um preenchimento inerte. Devido ao seu menor tamanho de partículas, a CCA atua como um material de densificação, melhorando o empacotamento do sistema. Isso reduz a quantidade de poros e aumenta a coesão da matriz cimentícia, especialmente na microestrutura da zona de transição (Tashima *et al.*, 2011).

Ainda segundo o autor, a cinza da casca de arroz possui sílica e alumina, fundamentais para sua atividade pozolânica. Durante a hidratação do cimento, esses elementos reagem com a cal liberada, gerando compostos que preenchem os vazios na matriz do concreto, o que eleva sua resistência e reduz a porosidade. Quando bem calcinadas e moídas, as partículas de cinza de casca de arroz se tornam um excelente material pozolânico, melhorando as propriedades físico-mecânicas das misturas de cimento e concreto.

A cinza gerada pela queima da casca de arroz é uma excelente alternativa para substituir parcialmente o cimento Portland na fabricação de concreto e argamassa. Quando devidamente tratada, essa cinza se transforma em uma pozolana, caracterizando-se como um material silicoso ou sílico-aluminoso. Além de promover um aumento mais rápido na resistência, ele ajuda a diminuir a segregação e a exudação, melhorando a trabalhabilidade do concreto (LUDWIG, 2014).

Um aspecto a ser considerado é que a CCA pode afetar a trabalhabilidade do concreto, gerando uma demanda excessiva de água devido à sua alta superfície específica e, em algumas amostras, ao elevado teor de carbono residual. Por essa razão, o uso da CCA geralmente é combinado com aditivos superplastificantes, que ajudam na dispersão adequada dos grãos da adição (Silva, 2007).

A casca de arroz é um recurso construtivo com propriedades isolantes, favorecendo a eficiência energética das edificações. Ao ser aplicada como isolante térmico em estruturas como paredes, pisos e telhados, ela diminui a transferência de calor, reduzindo a dependência de sistemas de aquecimento e refrigeração. Isso leva a uma menor utilização de energia e, assim, a uma diminuição nas emissões de gases de efeito estufa (Silva, 2009).

O uso da casca de arroz na construção civil representa um exemplo de economia circular, onde os resíduos são aproveitados e reintegrados à produção. Em vez de serem descartados, esses resíduos são transformados em recursos valiosos para fabricar materiais de construção, diminuindo a demanda por novas matérias-primas. Ademais, a reutilização da cinza da casca de arroz é benéfica para o meio ambiente, pois seu descarte inadequado pode causar poluição devido ao carbono residual presente (Bezerra, 2011).

### **2.2.3 Biopolímeros usados em substituição ao cimento**

Os biopolímeros são oriundos de fontes naturais ou renováveis. Segundo Franchetti e Marconato (2006), eles se formam durante o crescimento de organismos vivos e estão ligados a reações enzimáticas. Tais polímeros possuem: baixa taxa de elementos tóxicos, são biodegradáveis, elevada a capacidade de formar filmes, fáceis de modificar e terem baixo custo.

De acordo com Macdonald (2018), civilizações antigas perceberam que podiam melhorar os materiais de construção usando produtos naturais. Os romanos, por exemplo, usavam sangue seco para incorporar ar e proteínas como retardadores de pega para gesso. Já os chineses misturavam claras de ovo, óleos de peixe ou sangue na construção da Grande Muralha.

Embora os polímeros naturais tenham sido usados por muito tempo, eles foram substituídos por materiais sintéticos que usam mais tecnologia. A partir da segunda metade do século XX, surgiram polímeros modificados graças a novos processos de polimerização e os aditivos sintéticos passaram a ser mais importantes (Risen, 1997).

A combinação entre cimento e água gera um produto denominado de pasta. A água hidrata o cimento, começando a formar a microestrutura e a desenvolver as propriedades do material. Os biopolímeros podem substituir parcialmente ou totalmente a água nas pastas (Hoyos, 2019).

#### **2.2.4 O uso de geopolímeros como alternativa cimentício**

O geopolímero é um ligante criado a partir de reações químicas de um precursor rico em sílica e alumina, ativado por alcalinos. Os principais componentes são materiais que contêm silício (Si) e alumínio (Al), provenientes de fontes naturais ou de resíduos, como argilas, cinzas e escórias. O líquido ativador é geralmente à base de sódio ou potássio (De Oliveira et al., 2022)

Os ligantes geopoliméricos são materiais à base de cimento que podem substituir compostos de Cimento Portland e emitem menos CO<sub>2</sub> durante sua produção. A composição molar destes precursores permite a produção de geopolímeros com diferentes características e estruturas, como amorfas e semi-cristalinas (Unis Ahmed et al., 2022)

Para Majidi (2009), as principais propriedades dos geopolímeros são: alta resistência inicial, durabilidade extraordinária, resistência a ataques químicos e capacidade de imobilizar átomos tóxicos. Mesmo com tais atribuições, os concretos geopoliméricos demorarão um certo tempo para atendam a uma quantidade significativa da demanda global.

Recentemente, resíduos agrícolas têm sido utilizados no concreto de várias maneiras, incluindo como reforço em geopolímeros, substituição de agregados e substituição de cimento (Luhar; Cheng; Luhar, 2019).

#### **2.2.5 Nanoaditivo empregado como rota ao cimento**

Materiais cimentícios são comuns na infraestrutura moderna e, em sua fabricação, busca-se que este tenha um bom nível de resistência e durabilidade. Por outro lado, estruturas de concreto, que tem como elemento base o cimento, não são imunes a deterioração, já que estas são expostas a fatores como: exposição ambiental, danos mecânicos e demais vulnerabilidades. No intuito de amenizar os danos nas estruturas, o uso de aditivos minerais tem sido empregado visando reforçar e melhorar as características da mistura como um todo (Ramanathan, 2021).

Conforme Ling et. al (2022), adições de nanomateriais surgiram como uma solução promissora para melhorar as propriedades mecânicas e a durabilidade das

estruturas de concreto. Os nano-aditivos que se destacam incluem fumaça de sílica, escória de alto-forno granulada, cinzas de carvão e nano metacaulim (NMK).

Pesquisas apontam que o concreto com metacaulim reduz a expansão causada pela reação álcali-sílica e a penetração de íons cloreto. O metacaulim também demonstrou capacidade de refinar a estrutura dos poros da pasta de cimento no concreto, contribuindo para a formação de um CSH secundário, o que melhora a qualidade e a durabilidade do material (Meddah et al., 2018).

A utilização do metacaulim como material pozolânico oferece vantagens, como aumentar a resistência do concreto em ambientes ácidos e sulfurosos. Além disso, a adição de 2% de metacaulim pode reduzir a porosidade do concreto em até 10% (Saboo et al., 2019).

### **3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Esta pesquisa consiste em uma revisão de literatura do tipo integrativa, na qual foram adotadas as seguintes etapas: definição da questão norteadora do estudo, determinação dos critérios de inclusão e exclusão, estipulação das informações que

serão removidas dos estudos selecionados, avaliação dos estudos que compõem a amostra, sintetização dos resultados e apresentação da revisão.

A pergunta norteadora foi: “Quais são os principais materiais utilizados em substituição ao cimento evidenciado na literatura no período de 2014-2024?”. O levantamento dos artigos foi realizado na base de dados do Google Acadêmico e na base de dados do *Web of Science*, a partir das palavras-chaves retiradas dos descritores: “cimento”, “materiais alternativos ao cimento”, “*cement substitutes*”.

A estratégia de busca foi elaborada de maneira estratégica, considerando a utilização de palavras-chave relacionadas aos materiais que são vistos como alternativas ao cimento. Os resultados obtidos, a partir dessa busca, foram analisados e recompilados, seguindo um processo de seleção e filtragem.

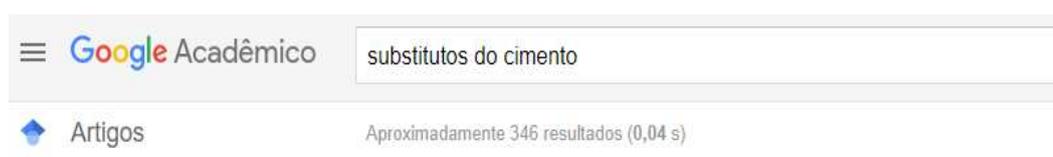
### 3.1 COLETA DE DADOS

Para a realização da coleta de dados, foram utilizadas ferramentas de busca em bases de dados científicas, no *Google Acadêmico* e *Web of Science*.

Inicialmente, as palavras-chave utilizadas escolhidas foram “cimento” e “materiais alternativos ao cimento”, porém os resultados, mesmo sem parâmetros adotados especificamente ao que se buscava, foi muito genérico, não atendendo ao requisito de uma pesquisa bem elaborada. Com isso, foi necessária uma adequação da palavra-chave, sendo a escolhida “substitutos do cimento” para buscar artigos na língua portuguesa, e “*cement substitutes*” para artigos na língua inglesa.

A Figura 1 apresenta a busca realizada na base de dados do Google Acadêmico, usando a palavra-chave “substitutos do cimento” restringida para artigos científicos no período de 2014 a 2024, obtendo 346 resultados.

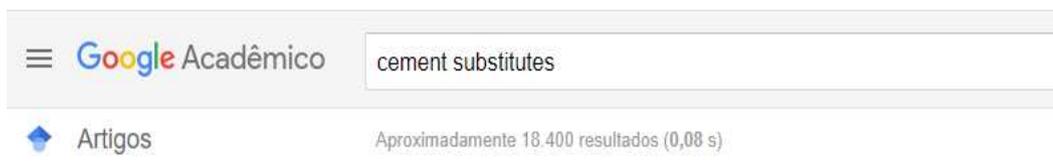
Figura 1 - Pesquisas parametrizadas em português na plataforma de busca Google Acadêmico



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A Figura 2 apresenta a pesquisa realizada na base de dados do Google Acadêmico, usando a palavra-chave “*cement substitutes*”, restringida para artigos científicos no período de 2014 a 2024, gerando 18.400 resultados.

Figura 2 - Pesquisas parametrizadas em inglês na plataforma de busca Google Acadêmico



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Por outro lado, na Figura 3 se apresenta a busca realizada. Esta, por sua vez, na base de dados *Web of Science* usando a palavra-chave “substitutos do cimento” restringida para artigos científicos no período delimitado, atingindo 46 resultados.

Figura 3 - Pesquisas parametrizadas em português na plataforma de busca *Web of Science*



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Por fim, a figura 4 exibe a pesquisa realizada na base de dados no *Web of Science*, usando a palavra-chave “*cement substitutes*” restringida para artigos científicos no período delineado, alcançando 3.651 resultados.

Figura 4 - Pesquisas parametrizadas em inglês na plataforma *Web of Science*

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A combinação de diferentes fontes de dados e plataformas de pesquisa, juntamente com a seleção adequada da palavra-chave, permitiu uma abordagem aprofundada do tema em questão.

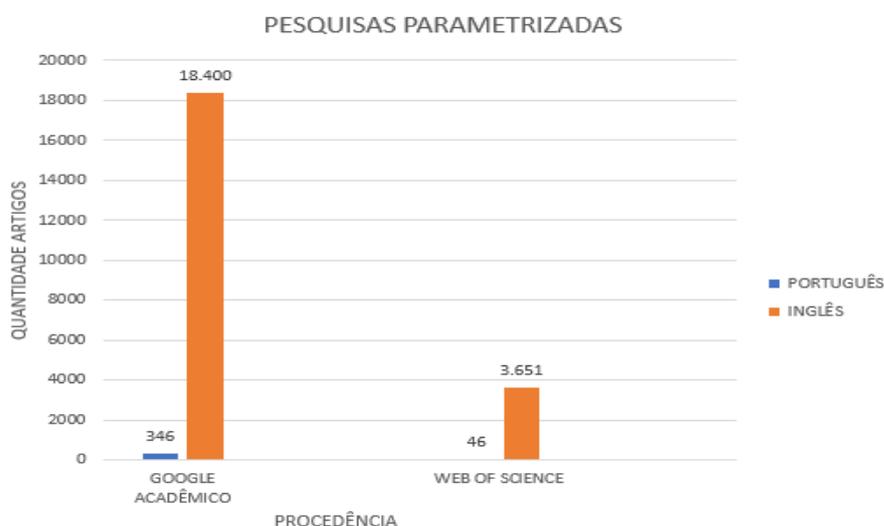
### 3.2 ANÁLISE DOS DADOS

Com base nos dados dispostos, os resultados das pesquisas foram tabulados em planilhas para análise de estatística descritiva, utilizando o *Software Microsoft Excel 2010* gerando gráficos, proporcionando uma melhor compreensão dos achados bibliográficos.

#### 4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DA PESQUISA

A partir da busca dos referenciais nas bases de dados Google Acadêmico e *Web of Science*, foram obtidos os seguintes resultados em consonância com os critérios estabelecidos para o estudo, como apresentado a seguir.

Gráfico 1 - Relação quantidade x procedência das pesquisas parametrizadas por base de dados

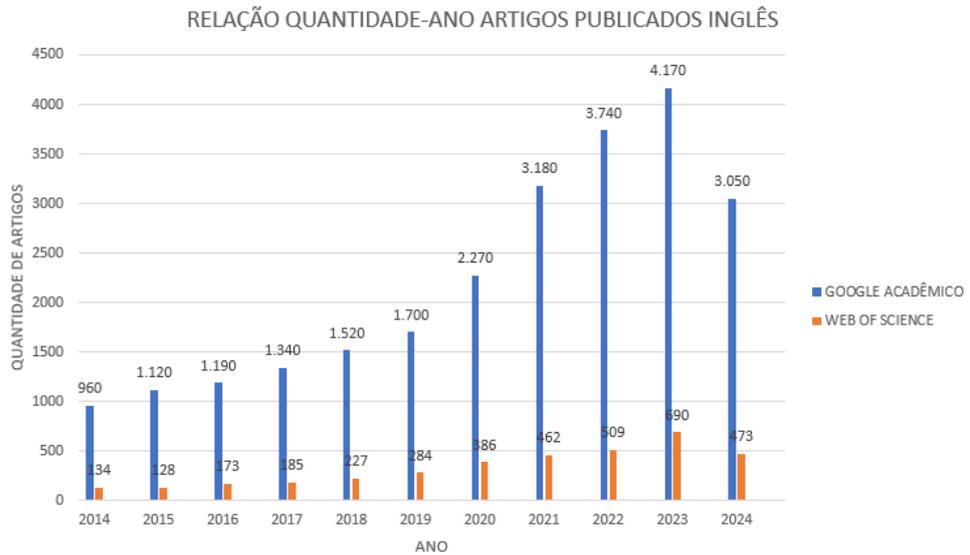


Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Com base no gráfico 1, nota-se a diferença quantitativa entre os artigos encontrados nos sistemas de busca do *Google Acadêmico* sendo superior ao *Web of Science*. Acredita-se que esta tendência refere-se ao fato de que exista generalização da temática na plataforma *Google Acadêmico* que ao ser comparada com o *Web of Science*, que detém maior rigor científico e especificidade proporcionará resultados mais restritivos.

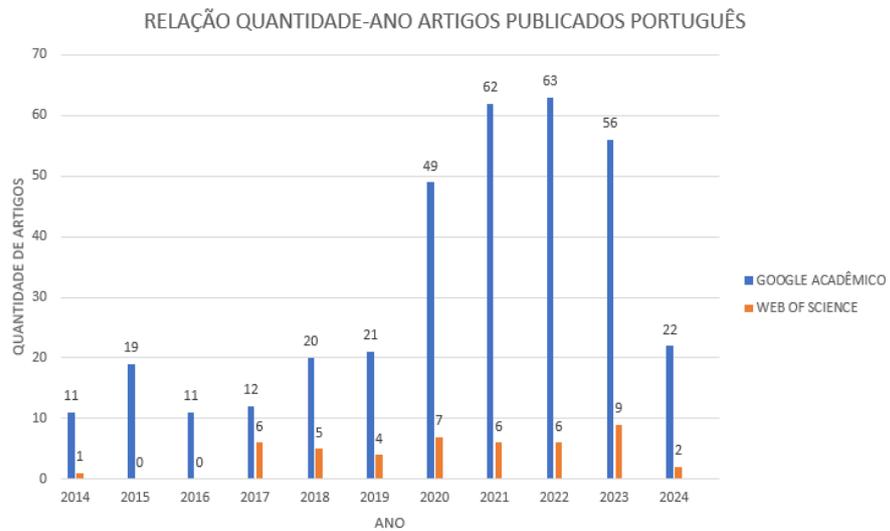
Já na análise de referenciais quanto a língua inglesa e portuguesa, por quantidade, o gráfico 2 e gráfico 3 expõe os artigos em cada base de dados, por ano e período de estudo.

Gráfico 2 - Relação quantidade x ano publicação das pesquisas encontradas em inglês



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Gráfico 3 - Relação quantidade x ano publicação das pesquisas encontradas em português



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Mediante o gráfico, verifica-se o aumento no volume de publicações a partir do ano de 2020. Vale ressaltar, que este período foi marcado pelo advento da crise sanitária mundial, portanto supõe-se tal fator tenha alavancado o número de publicações em todas as áreas.

No total, somando as plataformas de busca do *Google Acadêmico* e *Web of Science*, foram encontrados 22.051 artigos na língua inglesa e 392 artigos na língua portuguesa. Com base nos artigos dispostos, foi realizado um refinamento da busca subsidiada pelos critérios de inclusão e exclusão de modo a descartar as referências distantes do tema proposto.

Seguindo os critérios de inclusão e exclusão adotados para realização deste estudo, os dados encontrados nas bases de dados elencadas, foram selecionados e agrupados, extraindo as seguintes informações: procedência, título, autoria e periódico. Desta maneira, os mesmos foram expostos no quadro a seguir.

Quadro1 - Pesquisas selecionadas na base de dados do *Web of Science*

PERIÓDICO	TÍTULO	AUTORES E ANO	OBJETIVOS	RESULTADOS
Revista IBRACON de Estruturas e Materiais	Análise da influência das cinzas do bagaço de cana-de-açúcar no comportamento mecânico de concretos	Z. L. M. Sampaio P. A. B. F. Souza B. G. Gouveia (2014)	Analisar o comportamento mecânico dos concretos contendo incorporações de CBC de três diferentes espécies de cana-de-açúcar (SP911049, RB92579 e SP816949), mediante ensaios de consistência, índice de vazios, absorção, porosidade total e resistência à compressão.	Os resultados mostraram que a variedade da cana-de-açúcar, utilizada na produção das CBC, influenciou no comportamento mecânico dos concretos resultantes. Todos os concretos com adição de CBC apresentaram uma redução de no mínimo 10% nas propriedades relacionadas à permeabilidade e um incremento na resistência à compressão de até 20% em relação ao concreto padrão aos 28 dias. O uso da CBC em adição ao concreto se mostrou uma opção bastante viável na melhoria das propriedades mecânicas do concreto para uso em construção civil em geral e também uma destinação adequada ao subproduto agroindustrial.
Revista em Agronegócio e Meio Ambiente	Utilização da cinza leve e pesada do bagaço de cana-de-açúcar como aditivo mineral na produção de blocos de concreto para pavimentação	S. T. Martins Filho C. H. Martins (2017)	Investigar a potencialidade de utilização de cinzas provenientes da queima do bagaço de cana-de-açúcar como substituto parcial do agregado miúdo e do aglomerante para produção de concreto utilizado na confecção de blocos para pavimentação, verificando-	Verificou-se que uma substituição de 25% de agregado miúdo por cinza pesada e de 2,5% de cimento Portland por cinza leve atendeu às recomendações da ABNT NBR 9781:2013.

			se a resistência à compressão, abrasão, absorção de água e MEV.	
Journal of Materials Research and Technology	Comparative analysis between properties and microstructures of geopolymeric concrete and portland concrete	D. S. T. Pereira et al. (2018)	Apresentar uma comparação combinada entre características mecânicas, térmicas e microestruturais de concretos fabricados com cimentos Portland geopoliméricos e de alto desempenho.	Resultados de resistência à compressão, difração de raios X (DRX), microscopia eletrônica de varredura (MEV) e análise térmica (DSC/TGA) são discutidos, a fim de reunir informações para uma melhor compreensão da relação entre propriedades e microestrutura de materiais geopoliméricos e Cimentos Portland no desempenho de concretos.
Sustainability	Pozzolanic Potential and Mechanical Performance of Wheat Straw Ash Incorporated Sustainable Concrete	M. N. Amin et al. (2019)	Avaliar o potencial pozolânico, a resistência mecânica e o comportamento tensão-deformação de uma cinza de palha de trigo (WSA) disponível localmente como substituto parcial do cimento.	A resistência da argamassa e do concreto diminuiu com o aumento das quantidades de WSA, exceto para aqueles contendo 15% de WSA, onde aumentou ligeiramente do que as respectivas amostras de controle em idades posteriores, ou seja, 28 e 91 dias. Apesar da resistência reduzida em substituições elevadas (20%, 25% e 30%), os valores do índice de atividade de resistência atenderam aos requisitos da ASTM C618 para materiais pozolânicos. Além disso, a resistência à compressão do concreto contendo 20% de WSA excedeu a do concreto controle aos 91 dias.

Brazilian Journal of Development	Análise da reatividade pozolânica da cinza do bagaço da cana-de-açúcar	K. L. Lima et al (2020)	Analisar a reatividade pozolânica da cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) e verificar sua viabilidade como substituto parcial do cimento para produção de concreto autoadensável (CAA).	O resultado do o ensaio de índice de atividade pozolânica confirma a reatividade da CBC, comprovando sua empregabilidade como material pozolânico no âmbito da construção civil. O CAA com CBC apresentou trabalhabilidade adequada, viabilizando a reutilizando do resíduo agroindustrial.
Ambiente Construído	Caracterização e uso da cinza do bagaço de cana-de-açúcar em tijolos de solo-cimento	E. M. Moura et al. (2021)	Caracterizar a cinza do bagaço da cana-de-açúcar e utilizá-la como material cimentício suplementar na produção de tijolos solo-cimento. A CBC foi utilizada substituindo percentuais de cimento utilizados na composição de tijolos nas proporções de 10, 20 e 50% em massa.	A caracterização química da CBC indicou a presença de sílica cristalina na forma de quartzo e cristobalita. Após a substituição parcial do cimento pela cinza, os tijolos conservaram sua resistência à compressão. Entre as composições estudadas, a substituição parcial do cimento pela CBC em 20% apresentou a maior resistência a compressão simples. De acordo com o estudo, a CBC se mostrou como um subproduto indicado para a produção de materiais de construção sustentáveis.
Materials Today: Proceedings	Mechanical and durability study of high performance concrete with addition of natural fiber (jute)	R. A. Nambiar M.K. Haridharan (2021)	Examinar e identificar a dosagem ideal de superplastificantes, substituir o cimento por diferentes proporções de sílica ativa e cinza volante e avaliar as características mecânicas como resistência à	O resultado confirmou que o concreto também funciona melhor em características mecânicas e de durabilidade com jute a 1 % do que qualquer outro concreto.

			compressão e à tração por divisão de HPC com sílica ativa e cinza volante com adição de natural fibra (juta) e posteriormente estudar posteriormente as propriedades de durabilidade como absorvência, ataque ácido, etc.	
Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental	Sílica proveniente da queima da casca de arroz utilizada como substituto parcial do cimento no concreto autoadensável	D. G. Padoin et al. (2022)	Avaliar a substituição parcial do Cimento Portland (CP) pela Sílica proveniente da Casca de Arroz (SCA), fabricada e vendida comercialmente.	Os resultados demonstraram que é possível substituir parcialmente CP por SCA (até 30%) sem que haja prejuízos às resistências mecânicas dos concretos autoadensáveis. O melhor concreto, levando em conta todos os aspectos estudados, foi contendo 20% de substituição. Contudo, a mistura com 30% de substituição pode ser usada em casos que tenham menor densidade de armadura, pois em termos econômicos e de sustentabilidade quanto maior a proporção usada, maior o benefício.
Infrastructures	Geopolymers: The Green Alternative to Traditional Materials for Engineering Applications	Z. Jwaida et al. (2023)	Investigar alternativas sustentáveis à produção de cimento, como os geopolímeros, devido ao impacto do aquecimento global e das alterações climáticas resultantes das emissões de gases com efeito de estufa.	Os resultados da pesquisa indicam que os geopolímeros são um substituto eficaz do ligante cimentício para o cimento em diversas aplicações. Além disso, a análise ecológica e da pega do carbono destacam a sustentabilidade dos

				geopolímeros em comparação com o cimento.
Advances in Civil Engineering	Retracted: Performance of High Strength Concrete Containing Palm Oil Fuel Ash and Metakaolin as Cement Replacement Material	M. H. Ismail et al. (2022)	Realizar ensaios de abatimento, ensaio de resistência à compressão e ensaio de absorção de água em amostras contendo substituição total de cimento até 40% de POFA e MK como substitutos do cimento.	A substituição parcial do cimento por MK e POFA reduziu a trabalhabilidade do concreto. No entanto, o concreto misto binário e ternário contendo MK e POFA proporciona melhor resistência à compressão em comparação ao concreto OPC até 9,5% após 28 dias de idade. Além disso, constatou-se que a resistência à compressão do concreto contendo POFA foi melhor que a do concreto contendo MK até 4%.
Revista Principia	Uso de biopolímeros em pastas de cimento: revisão sistemática da literatura	L. F. G. Pipolo et al. (2022)	Analisar estudos que utilizaram biopolímeros em pastas cimentícias para identificar os principais materiais e propriedades que foram explorados.	Os resultados mostraram tendência do crescimento deste tema a partir do ano de 2015, sendo a viscosidade principal propriedade estudada. Houve convergência na redução da viscosidade das misturas a partir das características plastificantes dos biopolímeros e melhoria em outras propriedades como resistência à compressão, trabalhabilidade e outros. Destaca-se o uso de biopolímeros consolidados no mercado mundial como bactérias, quitosana e lignina, materiais

				amplamente comercializados.
Nanomaterials	Preparation and Application of Nano-Calcined Excavation Soil as Substitute for Cement	L. Ling et al. (2024)	Apresentar uma investigação sistemática dos materiais de solo calcinados em tamanho nano desde a preparação até a aplicação em material cimentício.	Uma mistura de cimento com solo de escavação nano-calcinado (NCES) muito fino (área superficial específica de 108,76 m <sup>2</sup> /g) apresentou um aumento de 29,7% na resistência mecânica e estrutura de poros refinada, enquanto uma mistura de cimento com solo calcinado não moído apresentou uma perda mecânica em comparação com a amostra de controle. A liberação de calor retardada e reduzida em idade precoce foi observada em uma pasta de cimento misturada com NCES.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Quadro 2 - Pesquisas selecionadas na base de dados do *Google Acadêmico*

PERIÓDICO	TÍTULO	AUTORES E ANO	OBJETIVOS	RESULTADOS
Revista de Iniciação Científica	Análise comparativa das propriedades de concretos convencionais com substituição parcial do cimento portland por cinza da casca de arroz	F. B. Souza et al. (2014)	Realizar uma análise comparativa da influência da substituição parcial em massa do cimento Portland pozolânico (CP-IV-32) pela cinza da casca de arroz comercial em diferentes teores (0%, 10%, 15% e 20%) nas propriedades físicas, químicas e mecânicas do concreto convencional (40 MPa), nas idades de 7, 28, 56 e 91 dias, sendo os concretos avaliados quanto a resistência à compressão axial e diametral, módulo de elasticidade e pH.	A utilização da cinza da casca de arroz empregada nessa pesquisa em substituição ao cimento Portland (CP-IV-32) na mistura de concretos convencionais se mostra viável pelo fato de que os concretos com CCA em sua composição não exibiram influência significativa quanto às propriedades mecânicas, apresentando de modo geral valores de resistência à compressão, tração e módulo de elasticidade similares quando comparados aos concretos de referência.
Percurso Acadêmico	A utilização da casca da banana como substituição de parte do cimento na produção de tijolos ecológicos: a busca por alternativas sustentáveis	D. Silva M. B. Aguiar R. S. Jacob (2017)	Avaliar se a sílica contida na casca da banana possui propriedades suficientes para substituir parte do cimento na fabricação do tijolo.	Os tijolos com casca de banana mostraram-se inviáveis, por não atenderem às condições mínimas de resistência. Entretanto, em pequenas obras como: fogão a lenha, base para mesa, decoração, entre outras funcionalidades (obras que não necessitam de uma grande resistência), o tijolo oriundo do bagaço da casca de banana

				torna-se viável ecológica e economicamente, uma vez que não necessita de sua queima e mão-de-obra qualificada em relação aos tijolos convencionais.
Projectus	O uso de geopolímeros como alternativa sustentável na construção civil	L. A. Alves A. Nogueira (2018)	Apresentar algumas características fundamentais dos geopolímeros e algumas vantagens que o tornam uma ótima opção a ser usada na construção, seja do ponto de vista técnico, ou da preservação ambiental.	A principal vantagem obtida com o uso dos geopolímeros e que não pode ser equiparada com outros é o baixo impacto ambiental, com uma produção mais limpa, com mais fácil acesso à matéria prima, baixo consumo de energia e baixa emissão de dióxido de carbono para a atmosfera. A baixa resistência à tração e à flexão normalmente exibida pelos geopolímeros devido à sua natureza quebradiça e cerâmica pode facilmente levar a falhas e representar a principal desvantagem que limita o uso desses materiais em várias aplicações. Para melhorar a resistência à flexão e a resistência à fratura, os compostos de geopolímeros reforçados com fibra podem ser considerados como uma solução.

Journal of Building Engineering	Incorporation of agricultural residues as partial substitution for cement in concrete and mortar - A Review	A. A. Raheem B. D. Ikotun (2020)	Apresentar uma visão geral dos estudos realizados com resíduos agrícolas selecionados utilizados como substituição parcial do cimento em argamassas e concretos.	Observou-se com base nos estudos dos artigos que métodos de tratamento adequados e seleção criteriosa de materiais auxiliarão na melhoria das propriedades do concreto e das argamassas feitas com resíduos agrícolas.
Construction and Building Materials	High Volume Portland cement replacement: A review	C. O. Nwankwo et al. (2020)	Identificar resíduos que têm sido utilizados para substituir parcialmente o cimento Portland na produção de concreto em grandes volumes, identificar problemas associados ao seu descarte inadequado e discutir o desenvolvimento de resistência do concreto com substituição de alto volume de cimento Portland (40% e acima) com relação ao seu mecanismo de hidratação.	Materiais residuais com alto teor de CaO ou S + A + F podem parcialmente substituir o cimento Portland na produção de concreto e ajudar a reduzir o quantidade de resíduos que vai parar em aterros. Dosagens crescentes de materiais cimentícios suplementares no concreto comprometem a resistência à compressão do concreto, mas isso pode ser melhorado meios mecânicos, triturando os materiais em micro e nano tamanhos; minimizando a relação água/ligação; ou incorporando ativadores químicos. Além disso, maior dosagem de materiais cimentícios suplementares na produção de concreto está

				associada com níveis mais baixos de emissão de CO <sub>2</sub> .
Materials	A Study on Sustainable Concrete with Partial Substitution of Cement with Red Mud: A Review	H. J. Qureshi et al. (2022)	Apresentar uma revisão detalhada do progresso atual no uso de RMD na produção de concreto, bem como apontar claramente quatro direções para o uso de resíduos de lama vermelha na produção de concreto, a saber, propriedades frescas, propriedades mecânicas, aspectos de durabilidade, e aspectos ambientais. Além disso, a revisão também avalia a diretriz do futuro pesquisador para melhor desempenho.	Os resultados mostram que resíduos de lama vermelha melhorou as propriedades mecânicas e a durabilidade do concreto, ao mesmo tempo que reduziu sua fluidez. Além disso, ao integrar 25% dos resíduos de lama vermelha, as consequências ambientais da procura cumulativa de energia, do potencial de aquecimento global e dos principais critérios de poluição atmosférica (CO, NOX, Pb e SO <sub>2</sub> ) foram minimizadas.
Journal of Building Engineering	Utilization of rock dust as cement replacement in cement composites: An alternative approach to sustainable mortar and concrete productions	M. Dobiszewska et al. (2023)	Apresentar uma revisão abrangente dos resultados de artigos científicos relativos ao uso de pó de rocha de diferentes origens geológicas na produção de argamassa e concreto.	A substituição parcial do cimento por cerca de 10-15% de pó de rocha não deteriora as propriedades do compósito de cimento. No entanto, uma maior substituição leva à redução das propriedades mecânicas e ao declínio da durabilidade do compósito de cimento.
Brazilian Journal of Business	Estudo preliminar sobre o uso da casca de arroz na construção civil	V. T. Rodrigues et al. (2024)	Apresentar revisões literárias sobre a aplicação da casca de arroz, com destaque para o uso da cinza como substituto parcial do cimento no concreto.	O uso da casca de arroz na construção civil tem o potencial de oferecer benefícios econômicos, ambientais e sociais significativos. Trata-se de

				uma abordagem promissora e sustentável que pode trazer benefícios significativos, pois casca de arroz é um subproduto agrícola abundante e de baixo custo.
--	--	--	--	--

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A indústria da construção civil busca continuamente soluções para minimizar seu impacto ambiental e otimizar o uso de recursos, especialmente através da substituição parcial ou total do cimento, um dos principais responsáveis por emissões de CO<sub>2</sub>. Diversas pesquisas têm explorado materiais alternativos provenientes de resíduos agrícolas e outros subprodutos, destacando-se pela viabilidade e desempenho técnico.

A análise dos materiais alternativos em substituição do cimento revela uma diversidade de estratégias e impactos no desempenho do concreto. A cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBC) destaca-se como uma alternativa viável e amplamente estudada. Sampaio et al. (2014) identificaram que a incorporação de CBC em concretos reduziu em no mínimo 10% a permeabilidade e aumentou a resistência à compressão em até 20% aos 28 dias, demonstrando melhorias significativas nas propriedades mecânicas. Este resultado reforça a viabilidade do CBC como material sustentável na construção civil, além de ser uma destinação adequada para resíduos agroindustriais.

Outro estudo relevante de Martins Filho e Martins (2017) verificou que a substituição parcial de 25% de agregado miúdo por cinza pesada e 2,5% de cimento por cinza leve na produção de blocos para pavimentação atendeu aos padrões da ABNT, reforçando o potencial das cinzas na construção. Já Lima et al. (2020) confirmaram a reatividade pozolânica da CBC e sua eficácia em concretos autoadensáveis (CAA), destacando a trabalhabilidade satisfatória, essencial para a aplicação prática.

A cinza da casca de arroz (CCA) também mostrou ser uma alternativa promissora. Padoin et al. (2022) demonstraram que a substituição de até 30% do cimento por CCA não compromete as resistências mecânicas, sendo 20% a proporção ideal para manter o desempenho estrutural. Souza et al. (2014) corroboram esses achados, mostrando que concretos com CCA mantiveram propriedades mecânicas semelhantes às dos concretos de referência, o que valida sua aplicabilidade.

Geopolímeros, como destacado por Jwaida et al. (2023), apresentam menor impacto ambiental, emitindo menos CO<sub>2</sub> durante sua produção e sendo uma alternativa viável para substituição do cimento. No entanto, sua resistência à tração e

à flexão, frequentemente menor devido à natureza cerâmica dos geopolímeros, pode limitar algumas aplicações, como apontado por Alves e Nogueira (2018).

Materiais como a cinza de palha de trigo (WSA) também foram avaliados por Amin et al. (2019), que observaram que substituições até 15% resultaram em melhor desempenho a longo prazo, superando amostras de controle em 28 e 91 dias. Isso demonstra que, embora substituições mais altas possam reduzir a resistência inicial, a adaptação de teores menores pode equilibrar o desempenho e a sustentabilidade.

Também, estudos sobre o uso de nano-calcário, como o de Ling et al. (2024), indicam melhorias na resistência mecânica em 29,7% e refinamento da estrutura de poros, evidenciando a relevância de inovações nano tecnológicas na busca por materiais mais duráveis e eficientes.

A atuação e importância do engenheiro civil na temática da substituição de materiais tradicionais por alternativas sustentáveis são fundamentais e multidimensionais. Com base no referencial apresentado, é possível destacar diversos pontos que evidenciam esse papel. A exemplo, o engenheiro civil atua como um intermediário entre a pesquisa acadêmica e a aplicação prática, sendo responsável por implementar tecnologias que integram materiais alternativos aos processos construtivos. Estudos, como o de Sampaio et al. (2014), que demonstraram a eficácia da cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBC) na melhoria das propriedades mecânicas do concreto, ilustram a necessidade de o engenheiro civil avaliar a viabilidade técnica e adaptar as soluções para projetos reais. Esse papel exige uma compreensão aprofundada das propriedades dos materiais e a habilidade de realizar adaptações que maximizem seu desempenho.

A necessidade de mais estudos sobre materiais inovadores em substituição ao cimento na construção civil é evidente, considerando os desafios e oportunidades identificados na literatura. Embora os estudos analisados demonstrem avanços significativos no uso de materiais como cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBC), cinza de casca de arroz (CCA), geopolímeros e aditivos nanotecnológicos, ainda existem lacunas importantes a serem exploradas.

Essas lacunas incluem a avaliação do desempenho a longo prazo desses materiais em diferentes condições climáticas e de carga, bem como a compreensão dos impactos econômicos e logísticos associados à produção em larga escala. Além disso, questões relacionadas à viabilidade de implementação em projetos de grande

porte e às normativas regulatórias locais e internacionais precisam ser mais aprofundadas.

Estudos futuros devem focar em otimizar as proporções de substituição, garantir a consistência dos resultados em aplicações práticas e desenvolver métodos de tratamento e preparo que maximizem a eficácia dos materiais alternativos. A colaboração interdisciplinar entre pesquisadores, indústrias e órgãos reguladores é essencial para superar desafios técnicos e promover a adoção de soluções sustentáveis e seguras na construção civil.

Portanto, ampliar as pesquisas e a experimentação é crucial para consolidar essas alternativas como práticas comuns, garantindo não apenas a sustentabilidade ambiental, mas também a manutenção da segurança e eficiência estrutural das obras.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo buscou explorar e analisar materiais alternativos ao cimento, com foco em práticas mais sustentáveis para a construção civil. Os objetivos específicos incluíram a avaliação da aplicação desses materiais, a discussão das principais contribuições dos autores sobre o tema e a evidência do papel do engenheiro civil na pesquisa e desenvolvimento dessas alternativas.

Os resultados indicam que os principais materiais alternativos, como cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBC), cinza de casca de arroz (CCA), geopolímeros e aditivos nanotecnológicos, apresentam potencial significativo para substituir o cimento de forma parcial. Estudos como os de Sampaio et al. (2014) e Padoin et al. (2022) demonstraram que a CBC e a CCA, respectivamente, podem melhorar a resistência e a durabilidade do concreto, atendendo aos requisitos de desempenho estrutural sem comprometer a viabilidade técnica.

Além disso, os geopolímeros se destacaram pela sua menor pegada de carbono, conforme discutido por Jwaida et al. (2023), evidenciando seu potencial para reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> associadas à produção de cimento. Os resultados ressaltam a necessidade de uma abordagem integrada entre inovação tecnológica e práticas de sustentabilidade ambiental, consolidando o papel do engenheiro civil como agente de transformação na busca por soluções mais ecológicas e eficientes.

O trabalho também cumpriu o objetivo de discutir as contribuições dos principais autores que abordam o uso de materiais alternativos. Foram analisadas evidências de que a substituição parcial do cimento por resíduos agrícolas e subprodutos industriais pode proporcionar benefícios econômicos, ambientais e sociais, promovendo a economia circular e reduzindo a dependência de recursos naturais não renováveis.

Contudo, embora os resultados sejam promissores, o estudo destaca a necessidade de mais pesquisas para avaliar o desempenho desses materiais em diferentes cenários práticos, levando em consideração fatores como durabilidade a longo prazo, comportamento em diferentes condições ambientais e custo-benefício.

Em resumo, a pesquisa reforça a relevância da implementação de alternativas sustentáveis ao cimento e evidencia que, com mais estudos e desenvolvimento tecnológico, esses materiais poderão se consolidar como soluções viáveis para uma construção civil mais sustentável. Assim, o trabalho atendeu aos objetivos propostos,

contribuindo para a compreensão do potencial de materiais inovadores e estimulando futuras investigações na área.

## REFERÊNCIAS

- ABCP. Associação Brasileira do Cimento Portland. **Básico sobre o cimento**. Disponível em: <<https://abcp.org.br/cimento/>>. Acesso em: 25 out. 2024.
- ABRÃO, P. C. R. A. **O uso de pozolanas como materiais cimentícios suplementares**: disponibilidade, reatividade, demanda de água e indicadores ambientais. 2019.
- AGOPYAN, Vahan. **Materiais reforçados com fibras para a construção civil nos países em desenvolvimento**: o uso de fibras vegetais. 1991.
- ALI, F. H.; ADNAN, A; CHOY, C. K. Use of rice husk ash to enhance lime treatment of soil, **Canadian Geotechnical Journal** Vol. 29(5). 1992. Recuperado de <https://cdnscepub.com/doi/abs/10.1139/t92-091>.
- BEZERRA, I. M. T. et al. Aplicação da cinza da casca de o arroz em argamassas de assentamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n.6, p. 639-645, 2011.
- BRASIL, CONAB. **Acompanhamento safra bras. cana**, v. 7 - Safra 2019/20, n. 3 - Terceiro levantamento, Brasília, p. 1-62 dez. de 2020.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Balanco nacional da cana-de açúcar e agroenergia**. Brasília: MAPA/SPAEE, 2007.
- BLANDFORD, David. **"The contribution of agriculture to green growth."** Report to the OECD (2011).
- CANOVA, José Aparecido; MIOTTO, José Luiz; DE MORI, Luci Mercedes. Avaliação de argamassa mista de revestimento com substituição da areia natural por cinza de bagaço de cana-de-açúcar. **Ciência & Engenharia**, v. 24, n. 1, pp. 125-134, 2015.
- CASTALDELLI, V. N. Estudo de geopolímeros utilizando cinzas residuais do bagaço de cana-de-açúcar. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Departamento de Estruturas. Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2013.87f.
- CHRISTOPHER, Fapohunda et al. Structure and properties of mortar and concrete with rice husk ash as partial replacement of ordinary Portland cement – A review. **International Journal of Sustainable Built Environment**. Vol. 6, p. 675–692, 2017.
- CONAB (2017). Companhia Nacional de Abastecimento. **Perspectivas para a agropecuária/ Companhia Nacional de Abastecimento**. Recuperado de <http://www.conab.gov.br>.

CORDEIRO, G. C.; TOLEDO FILHO, R. D.; FAIRBAIN, E. M. R. Influência da substituição parcial do cimento por cinza ultrafina da casca de arroz com elevado teor de carbono nas propriedades do concreto. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n.4, p. 99-107, 2009.

CORDEIRO, G. C.; TOLEDO FILHO, R. D.; FAIRBAIRN, E. M. R. Use of Ultra-Fine Sugar Cane Bagasse Ash as Mineral Admixture for Concrete. **ACI Materials Journal**, v. 105, n. 5, p. 487-493, 2008.

CORDEIRO, Ghilherme C.; KURTIS, Kimberly E.. Effect of mechanical processing on sugar cane bagasse ash pozzolanicity. **Cement And Concrete Research**, [s.l.], v. 91, n.9, p.1864-1871, set. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.04.008>

DA SILVA, F.J.; DE OLIVEIRA, M. C.; MACHADO, M.V.S.; DUARTE, F. P. e THAUMATURGO, C. Cimentos Geopoliméricos. **IME**. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <<http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo10055/>>. Acesso em: 07 de outubro de 2024.

DE OLIVEIRA, L.B.; DE AZEVEDO, A.R.G.; MARVILA, M.T.; PEREIRA, E.C.; FEDIUK, R.; VIEIRA, C.M.F. Durability of geopolymers with industrial waste. **Case Stud. Constr. Mater.** 2022, 16, e00839. [CrossRef]

FARIA, K. C. P.; GURGEL, R. F.; HOLANDA, J. N. F. Recycling of sugarcane bagasse ash waste in the production of clay bricks. **Journal of Environmental Management**, v. 101, p. 7-12, 2012.

FIESP/CIESP, **Ampliação da oferta de energia através da biomassa (bagaço da cana-de-açúcar)**. São Paulo: FIESP/CIESP, p. 90. 2001.

FOLETTTO, Edson Luiz et al. Aplicabilidade das cinzas da casca de arroz. **Departamento de Engenharia Química**, UFSM – RS. Quim. Nova, v.28 n°6, p. 1055-1060, 2005.

FRANCHETTI, S. M. M.; MARCONATO, J. C. Polímeros biodegradáveis – uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos. **Química Nova**, v. 29, n. 4, p. 811-816, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422006000400031>.

FRÍAS, M.; VILLAR, E.; SAVASTANO, H. Brazilian sugar cane bagasse ashes from the cogeneration industry as active pozzolans for cement manufacture. **Cement and Concrete Composites**, v. 33, p. 490- 496, 2011.

FREITAS, Aurilaine Ávila; ROMÃO, Ediene Monteiro; ANÍCIO, Sabrina de Oliveira; BARROS, Adriano José. Bioconcreto: Uma revisão de sua aplicação na construção civil. *Research, Society and Development*, 2021, v. 10, n. 4, p. 1 – 11.

GANESAN, K.; RAJAGOPAL, K.; THANGAVEL, K.; SOUZA. Evaluation of Bagasse Ash as a Supplementary Cementitious Material. **Cement and Concrete Composites**, v. 29, n. 6, p. 515- 524, 2007.

GOPINATH, A.; BAHURUDEEN, A.; APPARI, S.; NANTHAGOPALAN P. **A circular framework for the valorisation of sugar industry wastes**: Review on the industrial symbiosis between sugar, construction and energy industries, *J. Clean. Prod.* 203 (2018) 89–108, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.252>.

HAWKINS, H. **A History of Cement and Concrete: From Ancient Times to the Present**. London: Academic Press. (2010)

HOYOS, C. G.; ZULUAGA, R.; GAÑÁN, P.; PIQUE, T. M.; VAZQUEZ, A. Cellulose nanofibrils extracted from fique fibers as bio-based cement additive. **Journal of Cleaner Production**, v. 235, p. 1540-1548, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.292>.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 2000. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, SP. 2000. 113f.

JUNAID, M.F.; REHMAN, Z.U.; KURUC, M.; MEDVED', I.; BAĆINKAS, D.; ĆURPEK, J.; ĆEKON, M.; IJAZ, N.; ANSARI, W.S. Lightweight concrete from a perspective of sustainable reuse of waste byproducts. **Constr. Build. Mater.** 2021, 319, 126061. [CrossRef]

LAFUENTE JUNIOR, A.N.A. Resíduos sólidos em restaurante comercial: um estudo de caso na cidade de Santos/SP. **Revista de Tecnologia Aplicada**, Faculdade Campo Limpo Paulista, v.6, n.2, p.44-61, 2012 (Mai/Ago). Disponível em: <https://www.cc.faccamp.br/ojs-2.4.8-2/index.php/RTA/article/view/430>. Acesso em: 4 outubro 2024.

LIMA, S. A.; HUMBERTO, V.; SALES, A.; NETO, V.F. Analysis of the mechanical properties of compressed earth block masonry using the sugarcane bagasse ash. **Construction & Building Materials**, v. 35, p. 829-837, 2012.

LING, L.; WU, C.; XING, F.; MEMON, S.A.; SUN, H. Recycling Nanoarchitectonics of Graphene Oxide from Carbon Fiber Reinforced Polymer by the Electrochemical Method. **Nanomaterials** 2022, 12, 3657. [CrossRef] [PubMed]

LUDWIG, Douglas Giongo. **Concreto com adição de cisca de casca de arroz**. Dissertação - UNIVATES, Lajeado, 59p. 2014.

MACDONALD, A. J. **Structure and architecture**, 3. ed. London: Routledge Taylor & Francis, 2018.

MAJIDI B. Geopolymer technology, from fundamentals to advanced applications: a review. **Mater Technol** 2009;24(2):79–87.

MARCOLIN, N. Criação no concreto. **Revista Pesquisa Fapesp**. Edição 127. Set./2006. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/criacao-no-concreto/>. Acesso em: 24/10/2024.

MARTINS, Matheus Pires. **Influência de substituição do cimento por pentóxido de nióbio hidratado e CCA na resistência à compressão de argamassas**. 2020. 19p. Dissertação – UNICEUB, Brasília, 2020.

MARTIRENA, J. F. et al. Use of waste of sugar industry as pozzolana in lime-pozzolana binders: study of reaction. **Cement and Concrete Research**, v. 28, p. 1525–1536, 1998.

MATOS, W.E. C et al. Utilização de cinzas do bagaço de cana-de-açúcar como material de preenchimento estrutural ou pozolânico para a produção de argamassas cimentícias: uma revisão, **Revista Ciência e Tecnologia de Materiais**, v. 32, n. 2, p. 73-82, 2020.

MAURY, M. B.; BLUMENSCHHEIN, R. N. Produção de cimento: Impactos à saúde e ao meio ambiente. **Sustentabilidade em Debate**, 3(1), 75-95. 2012.

MCGOWAN, D. A. "The Evolution of Cement Technology," **Cement and Concrete Research**, vol. 30, no. 4, pp. 545-553, 2000.

MEDDAH, M. S.; ISMAIL, M. A.; EL-GAMAL, S.; FITRIANI, H. "Performances evaluation of binary concrete designed with silica fume and metakaolin," **Construction and Building Materials**, vol. 166, pp. 400–412, 2018.

MEHTA, A.; SIDDIQUE, R. Sulfuric acid resistance of fly ash based geopolymer concrete. **Constr. Build. Mater.** 2017, 146, 136–143. [CrossRef]

MEHTA, P. K. Rice Husk Ash, A unique supplementary cement material. **Proceedings of the international symposium on advances in concrete technology**. Athens, Greece. (1992).

MEHTA, P. K. Greening of the concrete industry for sustainable development. **Concrete International**, v. 24, n. 7, p. 23-28, 2002.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concrete: Microstructure, Properties, and Materials**. New York: McGraw-Hill, 2014.

O'BRIEN, K. W. G. **Roman Concrete: The History and Development of Concrete in Ancient Rome**. New York: Routledge, 2003.

POUEY, M. T. F. **Beneficiamento da cinza de casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico**. 2006. 320 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2006.

RAMANATHAN, S. **Reactivity of Supplementary Cementitious Materials in Model Systems and Cementitious Pastes**; University of Miami: Coral Gables, FL, USA, 2021.

RIBEIRO FILHO, J. N.; SILVA, G. N.; LUCENA, K. F. M.; CARVALHO, N. H. C. **Projeto e execução de casa ecoeficiente em Campina Grande – PB**. Coordenação de ciências gerenciais, CEFET-PB, João Pessoa, 2006.

RISEN, W. M. Principles of polymer systems by Ferdinand Rodriguez (Cornell University). Taylor and Francis: Washington, DC, 1996. xiv + 732 pp. **Journal of The American Chemical Society**, v. 119, n. 46, 11356, 1997. DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/ja9657162>.

RODRIGUES, L. P.; HOLANDA, J. N. F. Recycling of water treatment plant waste for production of soilcement bricks. **Procedia Materials Science**, v. 8, p. 197-202, 2015.

SABOO, N.; SHIVHARE, S.; KORI, K. K.; CHANDRAPPA, A. K. "Effect of fly ash and metakaolin on pervious concrete properties," **Construction and Building Materials**, vol. 223, pp. 322–328, 2019.

SCHNEIDER, M. et al. Sustainable cement production: present and future. **Cement and Concret Research**, v. 41, p. 642-650, 2011.

SILVA, Everton Jose da. **Contribuição para utilização de cinza de casca de arroz na construção civil**. 2009. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2009. 117 f.

SILVA, I. O. **Influência da cinza de casca de arroz amorfa e cristalina e da sílica ativa na reação álcali-agregado**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2007. 127 f.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO (SNIC). **SNIC 50 Anos**. Disponível em: < [www.snic.org.br/](http://www.snic.org.br/) >. acesso em 3 de outubro de 2024.

LUHAR, S.; CHENG, T.; LUHAR, I. Incorporation of natural waste from agricultural and aquacultural farming as supplementary materials with green concrete: A review, **Composites Part B** 175 (2019) 107076.

TASHIMA, M. M. et al. Reaproveitamento da cinza de casca de arroz na construção civil. **HOLOS Environment**, v. 11, n. 1, p. 81-89, 2011.

TRAN, K. Q.; SATOMI, T.; TAKAHASHI, H. Improvement of mechanical behavior of cemented soil reinforced with waste cornsilk fibers. **Construction and Building Materials**, v. 178, p. 204-210, 2018.

UNIS AHMED H.; MAHMOOD, L.J.; MUHAMMAD, M.A.; FARAJ, R.H.; QAIDI, S.M.A.; HAMAH SOR, N.; MOHAMMED, A.S.; MOHAMMED, A.A. Geopolymer concrete as a cleaner construction material: An overview on materials and structural performances. **Clean. Mater.** 2022, 5, 100111. [CrossRef]

**ANEXOS**

## RELATÓRIO DE VERIFICAÇÃO DE PLÁGIO

**DISCENTE:** Lucas Silvério Vieira

**CURSO:** Engenharia Civil

**DATA DE ANÁLISE:** 28.10.2024

### RESULTADO DA ANÁLISE

#### Estatísticas

Suspeitas na Internet: **3,78%**

Percentual do texto com expressões localizadas na internet [▲](#)

Suspeitas confirmadas: **3,67%**

Confirmada existência dos trechos suspeitos nos endereços encontrados [▲](#)

Texto analisado: **87,2%**

*Percentual do texto efetivamente analisado (frases curtas, caracteres especiais, texto quebrado não são analisados).*

Sucesso da análise: **100%**

*Percentual das pesquisas com sucesso, indica a qualidade da análise, quanto maior, melhor.*

Analisado por Plagius - Detector de Plágio 2.9.4  
segunda-feira, 28 de outubro de 2024

### PARECER FINAL

Declaro para devidos fins, que o trabalho do discente LUCAS SILVÉRIO VIEIRA n. de matrícula **50003**, do curso de Engenharia Civil, foi aprovado na verificação de plágio, com porcentagem conferida em 3,78%. Devendo o aluno realizar as correções necessárias.

Assinado digitalmente por: ISABELLE DA SILVA SOUZA  
Razão: Responsável pelo documento  
Localização: UNIFAEMA - Ariqueme/RO  
O tempo: 30-10-2024 16:25:31

**ISABELLE DA SILVA SOUZA**  
**Bibliotecária CRB 1148/11**  
Biblioteca Central Júlio Bordignon  
Centro Universitário Faema – UNIFAEMA