

VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DO VIDRO MOÍDO COMO AGREGADO FINO NO CONCRETO

LIMA, Guilherme Santos de¹

DELONZEK, Samantha Angélica²

RESUMO: Este trabalho investiga a viabilidade da utilização do vidro moído como agregado na produção de concreto. A pesquisa foi realizada por meio de ensaios experimentais em laboratório, nos quais foram moldados corpos de prova utilizando um traço padrão de concreto, com substituição parcial do agregado miúdo por vidro moído. Foram avaliadas apenas propriedades como resistência à compressão e trabalhabilidade, não sendo abordados aspectos ambientais e econômicos. Os resultados indicam que o vidro moído, quando empregado em proporções controladas, não compromete de forma significativa o desempenho mecânico do concreto. Conclui-se que a aplicação do vidro moído como agregado é tecnicamente viável, desde que sejam bem definidas e respeitadas as proporções de substituição.

Palavras-Chave: Concreto; Vidro Moído; Agregado Miúdo.

ABSTRACT: This study investigates the feasibility of using ground glass as an aggregate in concrete production. The research was conducted through experimental laboratory tests, in which concrete specimens were molded using a standard concrete mix, partially replacing the fine aggregate with ground glass. Only properties such as compressive strength and workability were evaluated, while environmental and economic aspects were not considered. The results indicate that ground glass, when used in controlled proportions, does not significantly compromise the mechanical performance of concrete. It is concluded that the use of ground glass as an aggregate is technically feasible, provided that substitution proportions are well defined and strictly followed.

KEYWORDS: Concrete; Ground Glass; Fine Aggregate.

1 INTRODUÇÃO

O concreto é um dos materiais de construção mais utilizados no mundo, sendo superado apenas pela água em termos de consumo. Sua composição básica é formada por um aglomerante, água, agregado miúdo e agregado graúdo, podendo receber adições químicas destinadas a aprimorar propriedades específicas relacionadas ao uso ou manuseio. Além disso, o concreto pode ser combinado com outros materiais para alcançar o desempenho necessário em diferentes aplicações (ALLEN; IANO, 2013). Essa ampla aplicabilidade reflete-se no intenso consumo de suas matérias-primas constituintes.

¹ Graduando de Engenharia Civil no Centro Universitário Campo Real. engc-guilhermelima.camporeal.edu.br.

² Graduada em Engenharia Civil. Especializada em Arquitetura e urbanismo. Professora no centro universitario campo real. prof_samanthadelonzek@camporeal.edu.br

Nesse contexto, o agregado miúdo destaca-se como componente essencial da mistura, sendo tradicionalmente composto por areia natural. Apesar de sua ampla disponibilidade em ambientes pouco impactados pela ação antrópica, essa matéria prima deve atender a diversos requisitos físico químicos como granulometria adequada, ausência de matéria orgânica e baixa reatividade para ser considerada apropriada ao uso na construção civil. Tais exigências restringem as áreas de extração e dificultam o abastecimento sustentável do setor (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Diante da crescente demanda por recursos naturais e da preocupação com os impactos ambientais decorrentes da extração de matérias primas, intensificaram-se as pesquisas voltadas à substituição parcial de insumos convencionais por materiais alternativos. Nesse sentido, o vidro moído surge como uma opção promissora, uma vez que se trata de um resíduo amplamente disponível e com propriedades físico químicas semelhantes às do agregado miúdo, possibilitando sua aplicação em concretos como substituto parcial da areia.

A construção civil é reconhecida como um dos setores que mais consomem recursos naturais e geram resíduos sólidos (MEHTA; MONTEIRO, 2014; NEVILLE, 2015). Assim, a substituição parcial da areia natural por vidro moído apresenta-se como uma alternativa tecnicamente viável, especialmente considerando que o vidro contém elevada proporção de sílica amorfa (SiO_2) e possui comportamento potencialmente pozolânico. Essa característica pode contribuir para o aumento da resistência mecânica e a densificação da matriz cimentícia ao longo do processo de cura.

Estudos internacionais demonstram a viabilidade técnica do uso de vidro moído em proporções controladas, principalmente em elementos não estruturais e camadas de pavimentação (JOHN et al., 2013). No Brasil, embora o uso dessa técnica ainda seja incipiente, observa-se crescente interesse acadêmico e experimental em sua aplicação em concretos convencionais. Contudo, a ausência de normatização específica e a necessidade de avaliar de forma mais detalhada os efeitos da substituição nas propriedades mecânicas e na durabilidade do concreto ainda representam obstáculos à sua adoção em escala industrial.

Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo analisar a influência da substituição parcial do agregado miúdo por vidro moído na resistência à compressão e na trabalhabilidade de concretos moldados com diferentes teores desse material. Os ensaios foram conduzidos de acordo com as normas técnicas brasileiras

pertinentes, NBR 5738:2015 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova; NBR 5739:2018 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos; NBR 16889:2020 – Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (slump test); NBR 7211:2019 – Agregados para concreto – Especificação; NBR 12655:2015 – Concreto – Preparo, controle e recebimento.

Esse conjunto normativo permitiu uma análise comparativa rigorosa entre os traços convencionais e os modificados, avaliados em diferentes idades de cura

Além do potencial técnico, há um relevante aspecto ambiental envolvido na incorporação do vidro moído. No Brasil, são produzidas aproximadamente 980 mil toneladas de embalagens de vidro por ano, das quais apenas 47% foram devidamente recicladas em 2010 (REVISTA MATÉRIA, 2020). Em países como a Austrália, essa prática já se encontra consolidada, alcançando até 50% de substituição do agregado miúdo em elementos não estruturais.

A utilização do vidro moído como agregado alternativo no concreto tem despertado o interesse da engenharia civil em razão de suas propriedades físico-químicas favoráveis. Estudos apontam que o vidro moído apresenta granulometria adequada para substituir parcialmente o agregado fino, sem comprometer a trabalhabilidade da mistura (SANTOS; MIRANDA; MARTINS, 2018). Ademais, o vidro possui boa aderência à pasta cimentícia, contribuindo para a resistência mecânica do material, desde que sejam adotadas medidas adequadas de controle granulométrico e tratamento prévio do resíduo, a fim de evitar reações deletérias, como a reação álcali-agregado (SANTOS, 2021).

Conforme Silva, Lopes e Piovesan (2024), o vidro moído apresenta também efeito pozolânico, atuando como material cimentício suplementar. Ao reagir com os hidróxidos de cálcio liberados durante o processo de hidratação do cimento, forma compostos secundários que aumentam a densidade e a resistência da matriz do concreto. Tal fenômeno contribui diretamente para a durabilidade das estruturas, reduzindo a penetração de agentes agressivos, como cloretos e dióxido de carbono, e conseqüentemente prolongando a vida útil do material.

Além disso, a aplicação do vidro moído em concretos permite o desenvolvimento de elementos com propriedades diferenciadas, como concretos leves e com melhor desempenho térmico e acústico, ampliando as possibilidades de uso na construção civil (SILVA; LOPES; PIOVESAN, 2024). Pesquisas recentes

indicam que, quando utilizadas dosagens adequadas e procedimentos de controle rigorosos, a incorporação do vidro moído pode ocorrer em percentuais significativos sem comprometer o desempenho estrutural do concreto. Tal prática alinha-se às diretrizes das normas técnicas brasileiras, que estabelecem critérios e procedimentos para o preparo, controle, recebimento e aceitação do concreto de cimento Portland, assegurando a qualidade e a durabilidade das estruturas (ABNT, 2023).

2 METODOLOGIA

A pesquisa caracteriza-se como experimental e quantitativa. Foram moldados corpos de prova de concreto com substituição parcial do agregado miúdo por vidro moído nas proporções de 0%, 10%, 20% e 30%. Foram realizados ensaios de resistência à compressão, conforme a norma ABNT NBR 5739 (ABNT, 1994), que especifica o método de ensaio para determinar a resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos de concreto, abatimento (slump test) conforme A ABNT NBR 16889 (ABNT, 2020), que estabelece o método para determinar a consistência do concreto fresco por meio do teste de abatimento do tronco de cone e absorção de água, com corpos de prova rompidos aos 14, 21 e 28 dias.

2.1 APARELHAGEM E INSTRUMENTAÇÃO

Quadro 1 - Equipamentos utilizados para o desenvolvimento deste trabalho

Balança de precisão, com capacidade de 180kg
Recipiente cilíndrico PVC de com diâmetros de aproximadamente 100mm e altura de aproximadamente 200 mm
Carrinho de mão
Enxada e Colher de pedreiro
Trena e Paquímetro
Haste metálica
Peneira malha 10
Conjunto completo para slump test
Prensa hidráulica Solotest
Recipiente com água

2.2 MATERIAIS UTILIZADOS

Para a confecção do concreto, foi utilizado cimento Portland CP II-Z-32 (marca Votoran), areia fina, brita, água potável e granalha de vidro fina (marca Ecovitrum) com granulometria de 0,2 mm a 0,5 mm.

A dosagem foi realizada conforme orientações da ABNT NBR 7215 (ABNT, 2019), que especifica o método para determinar a resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos de cimento Portland, e da ABNT NBR 5738 (ABNT, 2015), que estabelece o procedimento padrão para a moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos e prismáticos de concreto, visando garantir a qualidade e a segurança das estruturas de concreto, respeitando o procedimento de mistura, moldagem e cura dos corpos de prova.

A homogeneização dos materiais foi feita no carrinho de mão, com monitoramento da relação água/cimento para garantir uniformidade e trabalhabilidade adequada conforme a norma da ABNT NBR 7212 (ABNT, 2012), que estabelece procedimentos para a execução de concreto dosado em central, com foco no preparo, fornecimento e controle do concreto. Conforme a norma da ABNT NBR 7211 (ABNT, 2019), que estabelece os requisitos técnicos para agregados utilizados na produção de concreto, tanto agregados miúdos (areia), quanto graúdos (brita), teor de materiais pulverulentos, absorção de água e massa específica, garantindo o atendimento aos requisitos de qualidade. O vidro moído, por ser um material não convencional, foi triturado e peneirado pela empresa ecovitrum, conforme as precauções apontadas por Neville (2015), e Mehta e Monteiro (2014), para atender aos limites de tamanho máximo admissíveis e minimizar riscos de reatividade álcali-sílica.

2.3 CONCRETO E SEUS COMPONENTES

O concreto é um material compósito obtido pela combinação em proporções determinadas de cimento, água, agregado graúdo, agregado miúdo e, em algumas situações, aditivos específicos. A resistência, plasticidade, durabilidade e outras propriedades do concreto dependem diretamente da quantidade e qualidade dos componentes e da forma como são misturados (Callister, Rethwisch, 2020).

O cimento Portland desempenha o papel de aglomerante hidráulico na composição do concreto, formando uma pasta ao ser misturado com água,

agregados e eventuais aditivos. Bauer (2000) nos diz que esse aglomerante possibilita as reações químicas necessárias para unir o cimento aos agregados, processo que promove o endurecimento da mistura ao longo do tempo. Inicialmente, o concreto está em estado plástico e úmido; com o passar do tempo, adquire rigidez e seca, adaptando-se ao formato dos moldes ou superfícies onde é aplicado. Devido às suas características de trabalhabilidade, resistência mecânica, durabilidade frente a agentes externos e versatilidade de aplicação, o concreto é o material mais amplamente empregado na construção civil.

Para Bastos (2023), o termo “traço” refere-se às proporções e quantidades dos materiais utilizados na composição específica de um concreto. O cálculo do traço é essencial em qualquer obra, pois as propriedades finais do concreto são influenciadas pelas características dos materiais empregados. Para garantir que o concreto atinja os requisitos estabelecidos no projeto, é necessário considerar parâmetros como a relação água/cimento, que indica a proporção entre a quantidade de água e cimento; a granulometria do agregado miúdo; o tamanho máximo do agregado graúdo; além da possível adição de aditivos que possam conferir propriedades específicas à mistura. O conhecimento detalhado de todos esses elementos e processos contribui para evitar problemas que comprometam a durabilidade e a funcionalidade dos componentes construtivos.

Conforme Neville (2015), os agregados representem entre 60% e 80% do volume total do concreto, sendo fundamentais para garantir sua resistência, durabilidade e estabilidade dimensional. O cimento, ao reagir com a água, forma um ligante que une os agregados, conferindo ao concreto suas características mecânicas e capacidade de endurecimento.

A norma ABNT NBR 7211 (ABNT, 2019) estabelece as especificações para agregados utilizados em concreto, abrangendo requisitos de granulometria, composição, impurezas e outras características relevantes para garantir a qualidade do material e, conseqüentemente, do concreto final. É essencial que os agregados apresentem propriedades adequadas, como granulometria uniforme, resistência, durabilidade, ausência de substâncias prejudiciais e características físicas que, assegurem um bom desempenho do concreto.

2.4 CARACTERÍSTICAS DO VIDRO E SUA APLICAÇÃO NO CONCRETO

O vidro é um material composto predominantemente por sílica (SiO_2), óxido de sódio (Na_2O) e óxido de cálcio (CaO). Mehta e Monteiro (2014) falam que, quando triturado de forma adequada, pode ser empregado como substituto parcial de agregados miúdos ou mesmo como adição pozolânica, contribuindo para o aumento da resistência do concreto em idades mais avançadas. Neville (2015) alerta que, contudo, a sílica presente no vidro, por ser amorfa, pode desencadear a reação álcali-sílica (RAS), caso não haja controle rigoroso sobre sua granulometria e proporção de substituição.

Pesquisas indicam que a substituição de até 20% do agregado miúdo por vidro moído pode resultar em desempenho satisfatório, desde que sejam observadas boas práticas de dosagem e condições adequadas de cura, assegurando a manutenção das propriedades mecânicas e da durabilidade do concreto (Mehta, Monteiro, 2014; John *et al.*, 2013).

2.5 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

De acordo com a ABNT NBR 5739 (ABNT, 2018), que se refere a ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos, os corpos de prova devem atender à relação de altura/diâmetro (h/d) nunca maior que 2,06, se menor que 1,94, deve-se utilizar o fator de correção.

Cálculo da resistência à compressão: os valores obtidos no visor da prensa hidráulica se dão em tonelada-força (tf), para cálculo da resistência, essa unidade precisou ser alterada para Newtons (N), utilizando a relação:

1 tonelada-força = 9,8066 KN (Eq 01). De acordo com a NBR 5739:2018 Concreto Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos, a resistência à compressão deve ser determinada pela expressão apresentada a seguir:

$$\text{Eq:02 } f_c = \frac{4F}{\pi \times D^2}$$

Onde,

f_c é a resistência à compressão, expressa em megapascal (Mpa);

F é a força máxima alcançada, expressa em newtons (N);

D é o diâmetro do corpo de prova, expresso em milímetros (mm);

2.6 CONFECÇÃO DE CORPOS DE PROVA

Foram realizado um tipo de traço de concreto utilizando diferentes porcentagens de vidro, que foram nomeados como Amostra 1, Amostra 2, Amostra 3 e Amostra 4. A fabricação dos concretos foi realizada no dia 07/05/2025.

Amostras traço 1:2:3.

As amostras foram moldadas e ensaiadas seguindo os procedimentos normativos, garantindo uniformidade e confiabilidade nos resultados obtidos. Cada corpo de prova representa uma condição específica de dosagem, permitindo avaliar com precisão o comportamento do concreto em diferentes proporções.

Tabela 1 – Composição dos materiais utilizados

	0% vidro	10% Vidro	20% Vidro	30% Vidro
VIDRO kg	0kg	1,51 kg	3,02 kg	4,54 kg
AREIA kg	15,12 kg	13,61 kg	12,10 kg	10,58 kg
BRITA kg	22,68 kg	22,68 kg	22,68 kg	22,68 kg
CIMENTO kg	7,56 kg	7,56 kg	7,56 kg	7,56 kg
ÁGUA L	3,78 L	3,78 L	3,78 L	3,78 L

Fonte: O autor (2025).

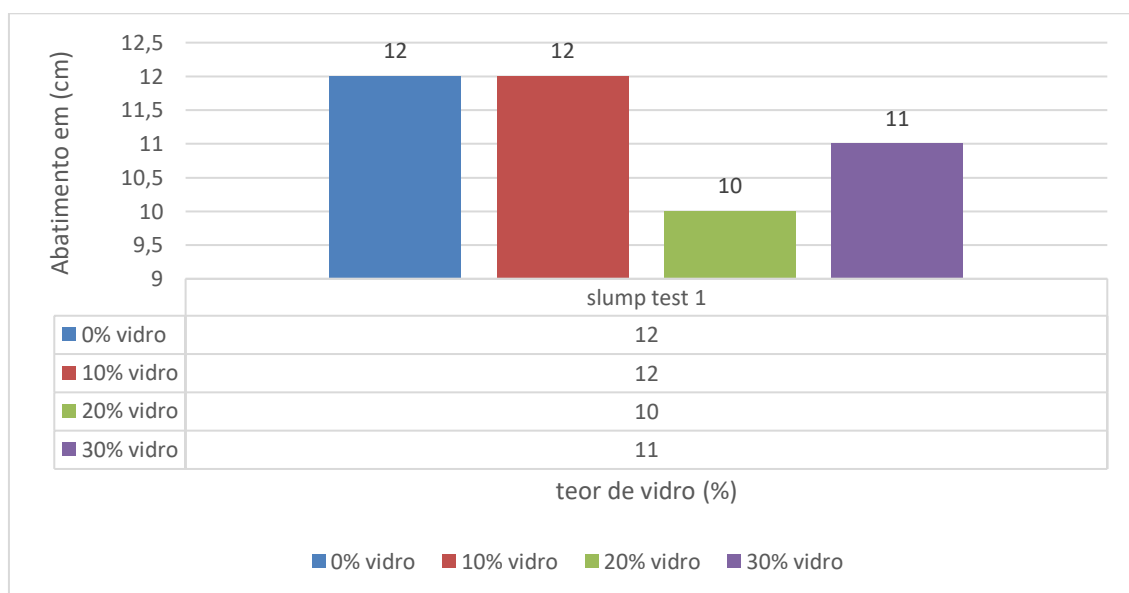
A Tabela 1 apresenta a composição dos materiais empregados na produção dos traços de concreto com diferentes porcentagens de substituição da areia natural por vidro moído (0%, 10%, 20% e 30%). Observa-se que, à medida que o teor de vidro aumenta, há uma redução proporcional da quantidade de areia, mantendo-se constantes os demais componentes, como brita, cimento e água. Essa organização permite avaliar de forma controlada o efeito da incorporação do vidro moído nas

propriedades do concreto, garantindo que qualquer variação nos resultados dos ensaios esteja diretamente relacionada ao percentual de substituição adotado. Dessa forma, a tabela se torna fundamental para a rastreabilidade dos materiais, para a reprodutibilidade experimental e para a interpretação comparativa do desempenho mecânico resultante de cada traço.

2.7 MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA

Após a separação dos materiais, cada amostra foi misturada utilizando o carrinho de mão e enxada, até que as misturas se encontrassem completamente homogêneas. Para a determinação da consistência do concreto, o molde tronco cônico foi preenchido logo após a preparação do concreto, colocado de modo centralizado sobre a mesa para índice de consistência. O material foi colocado em três camadas sucessivas, com alturas aproximadamente iguais, e aplicado em cada uma delas, respectivamente, 25 golpes com a haste. Em seguida, removeu-se o molde e, por último, mediu-se a altura com o auxílio de uma trena para determinar o slump que teve sua altura em 12cm para 0%, 12cm para 10%, 10cm para 20% e, por fim 11cm para 30%.

Gráfico 1 – Variação do abatimento (slump Test) em função dos teores de vidro moído



Fonte: O autor (2025).

O Gráfico 1 apresenta a variação do abatimento (Slump Test) para os diferentes

teores de substituição da areia natural por vidro moído. Observa-se que os traços de 0% e 10% de vidro apresentaram o mesmo abatimento, ambos com 12 cm, indicando manutenção da trabalhabilidade inicial. Já o traço com 20% de vidro mostrou redução significativa do abatimento, atingindo 10 cm, o que evidencia menor fluidez da mistura. Por fim, o traço com 30% de substituição registrou abatimento intermediário de 11 cm, demonstrando recuperação parcial da consistência em relação ao traço de 20%.

A Figura 1 apresenta o ensaio de abatimento do tronco de cone (Slump Test) realizado para os diferentes traços de concreto estudados. As figuras ilustram o procedimento de medição da consistência do concreto fresco logo após a moldagem, permitindo observar visualmente a variação no abatimento decorrente dos distintos teores de substituição de areia por vidro moído. Esse registro fotográfico complementa os dados apresentados no gráfico, evidenciando as diferenças de trabalhabilidade entre os traços analisados.

Figura 1 – Slump test



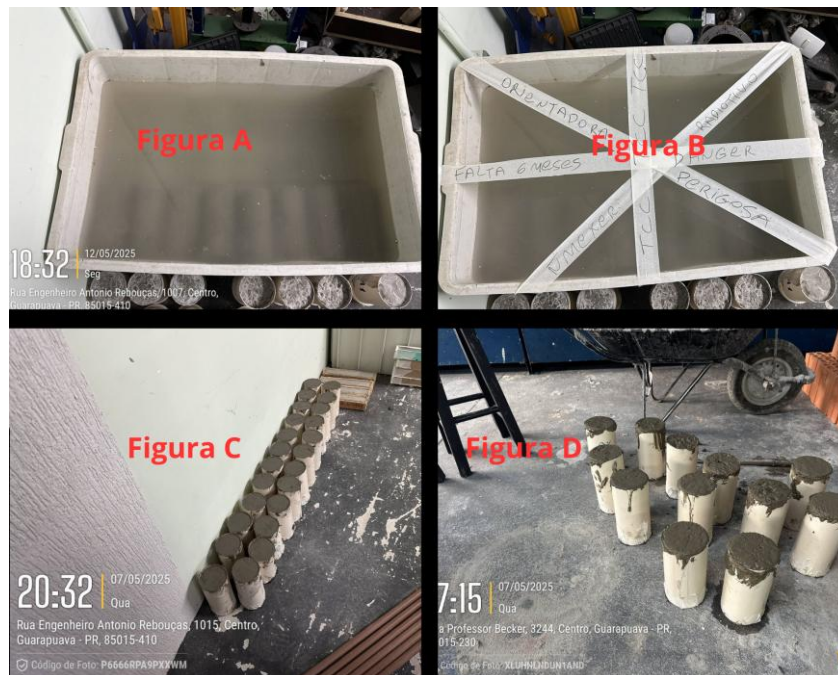
Fonte: O autor (2025).

Na Figura (A) é possível observar o primeiro ensaio de slump, no qual o concreto apresenta um abatimento baixo e boa coesão, indicando uma mistura mais seca e rígida. Já na Figura (B), o segundo ensaio demonstra um abatimento maior e um concreto com fluidez superior ao do primeiro, evidenciando uma mistura mais plástica.

Na Figura (C), referente ao terceiro ensaio, nota-se um concreto mais heterogêneo, com textura mais rugosa e menor capacidade de acomodação, sugerindo menor trabalhabilidade. Por fim, a Figura (D) apresenta o quarto ensaio, no qual o concreto exibe um abatimento ainda mais pronunciado, caracterizando uma mistura de maior fluidez e trabalhabilidade quando comparada às demais. Cada ensaio, portanto, demonstra diferentes comportamentos reológicos do concreto conforme sua composição e relação água/cimento.

Após serem desmoldados foram, realocados em um recipiente com água, onde foram mantidos até serem rompidos com o tempo de cada CP, sendo 14, 21 e 28 dias.

Figura 2 – Recipiente, Moldes, Armazenamento dos CPs.



Fonte: O autor (2025).

Na Figura 2 (A), é possível observar o recipiente utilizado para a cura dos corpos de prova, preenchido com água para garantir as condições necessárias ao processo de hidratação do cimento. Já na Figura 2 (B), o mesmo recipiente é mostrado vedado e identificado, assegurando controle, organização e proteção dos corpos de prova durante o período de cura. A Figura 2 (C) apresenta os corpos de prova moldados e alinhados. Por fim, na Figura 2 (D), observa-se os corpos de prova logo após a moldagem, ainda frescos e posicionados para posterior identificação e cura,

representando o momento intermediário entre a concretagem e a desmoldagem.

Foi utilizada também a ABNT NBR 5739:2018 (ABNT, 2018), para aplicar o método para determinar a resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos de concreto moldados ou testemunhos extraídos de estruturas, foram moldados 48 corpos de prova cilíndricos, após a moldagem foram armazenados em um local seco por 96 horas, após o tempo de cura de 96 horas foi realizado a desforma.

Após desmoldados os corpos de prova foram armazenados em um recipiente com água e organizado com 3 datas diferentes, 14, 21 e 28 dias. Com 14 dias foram rompidos os primeiros 16 moldes, com as proporções de 4 molde com 0% de vidro, 4 com 10% de vidro, 4 com 20% de vidro e por fim 4 com 30% de vidro, utilizando a prensa hidráulica solotest, repetindo o mesmo processo para as datas de 21 e 28 dias subsequentes. Esses dados podem ser observados na Tabela 2.

Figura 3 - Ensaio de resistência à compressão.



Fonte: O autor (2025).

Na Figura 3 (A), observa-se o corpo de prova posicionado na prensa hidráulica antes do início do ensaio de resistência à compressão, protegido pela grade de segurança do equipamento. A Figura 3 (B) mostra o momento inicial da aplicação da carga, com o corpo de prova corretamente centralizado entre as placas da prensa. Já na Figura 3 (C), é possível visualizar o avanço do ensaio, com o equipamento aplicando carga crescente e registrando os valores no display digital. Na Figura 3 (D), nota-se o corpo de prova apresentando deformações iniciais, típicas da fase anterior

à ruptura. A Figura 3 (E) evidencia o instante próximo ao limite de resistência, quando a carga atinge seu valor máximo imediatamente antes da fissuração completa. Por fim, na Figura 3 (F), observa-se o resultado final do ensaio, com o corpo de prova rompido e o equipamento registrando a carga máxima atingida, concluindo o procedimento de compressão axial.

A seguir, são apresentadas as tabelas contendo os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão realizados ao longo da pesquisa. As informações permitem comparar o desempenho mecânico entre as diferentes dosagens avaliadas, possibilitando uma análise clara da influência de cada proporção na resposta do concreto.

Tabela 2 - Resistência à Compressão – 14 dias

Dosagem	CP-I	CP-II	CP-III	CP-IV	MÉDIA
0%	11,67	12,08	10,71	9,67	11,03 Mpa
10%	8,59	10,61	10,01	10,56	9,94 Mpa
20%	12,45	11,09	8,14	11,76	10,86 Mpa
30%	9,95	7,72	11,46	8,44	9,39 Mpa

Fonte: O autor (2025).

Aos 14 dias de cura, o concreto de referência (0% vidro) atingiu resistência média de 11,03 MPa, enquanto as misturas com substituição de 10%, 20% e 30% de vidro moído obtiveram, respectivamente, 9,94 MPa, 10,86 MPa e 9,39 MPa. Esses valores indicam que, nesta idade, todas as composições apresentaram desempenho inferior ao mínimo usualmente exigido para aplicação estrutural, mas compatível com concretos destinados a fins não estruturais ou de pesquisa.

Tabela 3 - Resistência à Compressão – 21 dias

Dosagem	CP-I	CP-II	CP-III	CP-IV	MÉDIA
0%	12,48	11,88	9,59	10,36	11,08 Mpa
10%	11,15	12,37	7,60	12,25	10,84 Mpa
20%	13,48	9,65	10,70	10,27	11,03 Mpa

30% 9,24 9,29 10,89 9,35 9,69 Mpa

Fonte: O autor (2025).

Aos 21 dias, as resistências médias foram de 11,08 MPa (0%), 10,84 MPa (10%), 11,03 MPa (20%) e 9,69 MPa (30%), mantendo-se próximas entre si e ainda abaixo do patamar de 20 MPa, porém com tendência de ganho gradual de resistência em relação aos 14 dias.

Tabela 4 - Resistência à Compressão – 28 dias

Dosagem	CP-I	CP-II	CP-III	CP-IV	MÉDIA
0%	8,81	9,27	11,28	12,65	10,50 Mpa
10%	11,83	13,68	11,12	13,87	12,63 Mpa
20%	7,59	10,34	11,31	10,70	9,99 Mpa
30%	12,27	15,14	10,15	10,71	12,07 Mpa

Fonte: O autor (2025).

Aos 28 dias, idade de referência para a maioria dos projetos estruturais segundo a NBR 5739, os valores médios encontrados foram 10,50 MPa (0%), 12,63 MPa (10%), 9,99 MPa (20%) e 12,07 MPa (30%). Verifica-se que houve queda inesperada de resistência nos traços 0% e 20% do CPI, possivelmente associada a variáveis de moldagem, cura ou qualidade dos materiais, o que sugere a necessidade de repetição ou ampliação da amostragem para maior confiabilidade.

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados conforme a ABNT NBR 5739:2018 (ABNT, 2018), que estabelece o procedimento para determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos de concreto. Segundo a norma, a resistência característica mínima do concreto (f_{ck}) deve ser definida conforme o projeto estrutural, variando normalmente entre 20 MPa e 25 MPa para concretos convencionais utilizados em elementos estruturais correntes.

3 ANALISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Este estudo teve como objetivo entender como a substituição parcial do agregados miúdos por vidro moído afeta a resistência à compressão e a

trabalhabilidade do concreto. Para isso, compararam se misturas tradicionais com versões modificadas, avaliando diferentes idades de cura. Ao juntar a viabilidade técnica como a granulometria adequada, boa aderência à pasta e o efeito pozolânico com a preocupação ambiental, a inclusão do vidro moído se encaixa nos princípios da economia circular, ajudando a promover materiais mais sustentáveis na engenharia civil brasileira. Os testes de resistência à compressão e trabalhabilidade ajudaram a entender melhor como o vidro moído, ao substituir parcialmente o areia, influencia o desempenho mecânico do concreto. Essas avaliações foram feitas seguindo as normas ABNT NBR 5738 (2015) e NBR 5739 (2018), com dados coletados aos 14, 21 e 28 dias de cura.

Os resultados médios de resistência à compressão por traço encontram-se nas Tabelas 2, 3 e 4. Aos 14 dias, o concreto de referência (0% vidro) alcançou 11,03 MPa. As misturas com 10%, 20% e 30% de vidro moído obtiveram, respectivamente, 9,94 MPa, 10,86 MPa e 9,39 MPa.

Nesta idade de cura, nenhum dos concretos com adição de vidro superou o desempenho do concreto convencional. Esse resultado indica que o efeito pozolânico do material provavelmente ainda não se manifestou de forma significativa.

Aos 21 dias, as resistências médias do concreto se mantiveram estáveis (entre 9,69 MPa e 11,08 MPa), confirmando o ganho gradual de resistência comum ao processo de cura. Essa progressão é esperada, pois depende da continuidade das reações de hidratação do cimento e, no caso de adições pozolânicas, das reações secundárias com o hidróxido de cálcio (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Na idade de 28 dias o prazo de referência para a avaliação de desempenho do concreto, conforme a ABNT NBR 5739 (ABNT, 2018), a variação entre as amostras foi mais significativa. O traço com 10% de vidro alcançou a maior resistência média, com 12,63 MPa, superando o concreto de referência (10,50 MPa). Este resultado é um forte indício da contribuição da sílica amorfa presente no vidro para o ganho de resistência. Os traços com 20% e 30% registraram 9,99 MPa e 12,07 MPa, respectivamente. É digno de nota o aumento expressivo de desempenho do traço com 30% de vidro em comparação com as idades anteriores.

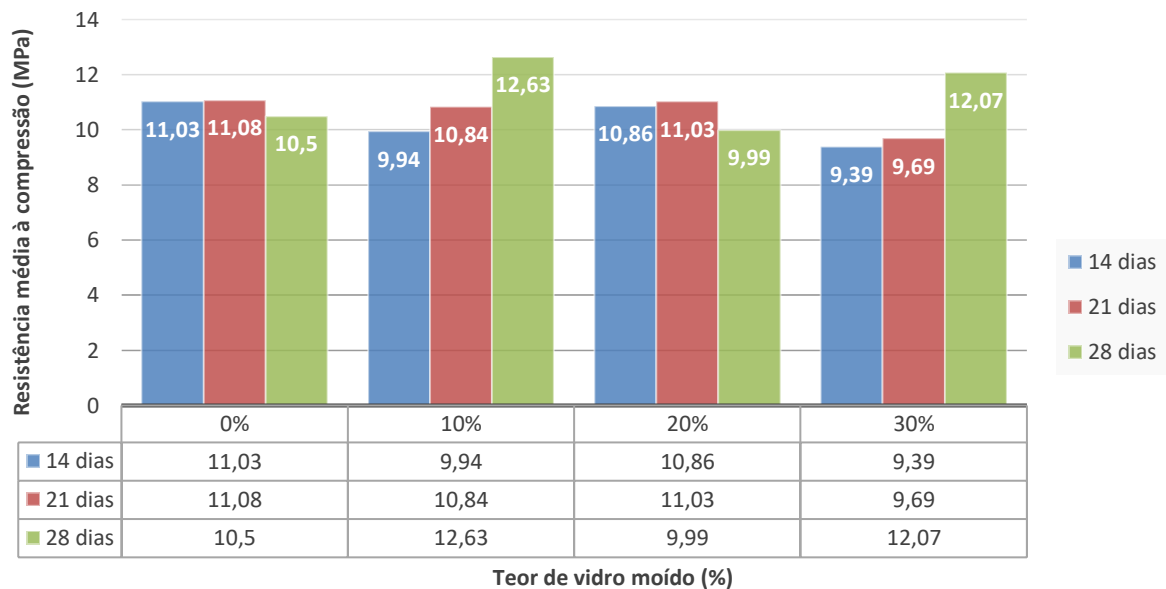
De forma geral, nenhum dos traços atingiu valores compatíveis com concretos estruturais convencionais ($f_{ck} \geq 20$ MPa), de modo que a aplicação dos compósitos estudados se limita a elementos não estruturais ou a estudos exploratórios.

A análise dos resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão

revelou que a substituição parcial do agregado miúdo por vidro moído apresentou desempenho variável de acordo com o percentual adotado.

Observou-se que as amostras com 10% e 20% de substituição apresentaram resistência média semelhante ao concreto de referência (0% vidro) ao longo dos 14, 21 e 28 dias de cura. No caso específico de 14 dias, a resistência média foi de 9,94 MPa para 10% e 10,86 MPa para 20%, próximos aos 11,03 MPa do traço convencional. Aos 21 dias, embora tenha ocorrido leve variação, os valores se mantiveram próximos, indicando estabilidade mecânica.

Gráfico 2 – Média da resistência à compressão para diferentes teores de vidro moído aos 14, 21 e 28 dias



Fonte: O autor (2025).

Já o teor de 30% apresentou desempenho variável, com resistência inferior nas idades iniciais (14 e 21 dias), mas recuperação significativa aos 28 dias, atingindo 12,07 MPa, valor superior ao concreto de referência e comparável ao traço com 10% de substituição. Esse comportamento pode estar associado à lenta reação pozolânica do vidro moído, que tende a contribuir para o ganho de resistência em idades mais avançadas, conforme apontam Mehta e Monteiro (2014) e Silva, Lopes e Piovesan (2024).

A trabalhabilidade, avaliada pelo abatimento, apresentou melhora nos traços com menores teores de vidro, devido à superfície lisa e não absorvente do material,

que reduz a demanda de água. Contudo, em 30% houve perda de coesão, dificultando o adensamento e potencialmente contribuindo para a redução de resistência.

De forma geral, os resultados indicam que a substituição de até 20% do agregado miúdo por vidro moído é viável tecnicamente, mantendo a resistência mecânica dentro dos padrões normativos e melhorando a trabalhabilidade. Teores acima deste limite devem ser aplicados com cautela, devido à redução significativa da resistência e possível impacto na durabilidade.

3.1 LIMITAÇÕES DE APLICAÇÃO

Apesar do incremento de resistência nos traços com vidro, nenhum deles atingiu o valor mínimo ($f_{ck} \geq 20$ MPa), compatível com concretos estruturais convencionais. Isso limita seu uso a aplicações não estruturais, como blocos de vedação, pisos de baixa sollicitação ou elementos de pesquisa experimental. Tais achados estão em linha com estudos anteriores (JOHN et al., 2013; SANTOS, 2021), que validam a substituição de areia por vidro moído em percentuais de até 20% sem comprometer seriamente o desempenho mecânico.

Ao analisar a Trabalhabilidade, os resultados do ensaio de abatimento (slump test) indicaram variações na consistência das misturas em função do teor de substituição. O concreto de referência (0%) e o traço com 10% de vidro apresentaram abatimento de 12 cm, demonstrando boa plasticidade e facilidade de adensamento. Já o traço com 20% obteve 10 cm, e o de 30% atingiu 11 cm, sinalizando leve redução da trabalhabilidade nas maiores proporções.

Esse comportamento pode ser atribuído à superfície lisa e pouco absorvente do vidro, que reduz a retenção de água na mistura e, conseqüentemente, melhora a fluidez em pequenas dosagens (MEHTA; MONTEIRO, 2014). No entanto, em teores mais elevados, a menor rugosidade superficial do vidro pode prejudicar a aderência entre a pasta de cimento e o agregado, ocasionando perda de coesão e maior suscetibilidade à segregação.

Para a análise comparativa e implicações de forma geral, os resultados obtidos indicam que a substituição de até 20% do agregado miúdo por vidro moído apresenta comportamento mecânico estável e melhor trabalhabilidade, mantendo a resistência média próxima à do concreto de referência. A partir de 30% de substituição, apesar

do ganho de resistência aos 28 dias, observou-se comportamento menos previsível, o que demanda maior controle das variáveis de produção e cura.

A variação dos resultados também pode estar associada a fatores operacionais, como a homogeneização manual da mistura, o controle de umidade dos agregados e as condições ambientais durante a cura, aspectos que influenciam diretamente na qualidade final do concreto. Assim, a padronização do processo e o aumento do número de corpos de prova poderiam fornecer dados mais consistentes e representativos.

Os resultados deste estudo mostram que é possível substituir parcialmente o agregado miúdo por vidro moído em até 20%, sem comprometer a qualidade do concreto. Essa mistura apresentou um desempenho compatível com concretos de baixa resistência e que são fáceis de trabalhar. A proporção de 10% foi a que apresentou o melhor equilíbrio entre consistência e resistência final. Já em níveis mais altos de substituição, é importante ter cuidado, pois a resistência mecânica tende a diminuir nas primeiras idades e depende bastante das condições de cura para melhorar posteriormente.

Com base nesses resultados, que demonstram a viabilidade técnica de usar vidro moído como substituto parcial do agregado miúdo, algumas recomendações são sugeridas para futuras pesquisas.

3.1.1 Avaliação Abrangente

Otimização de Processo e Dosagem: Investigar a influência de aditivos químicos (como superplastificantes) para aprimorar a trabalhabilidade e a dispersão do vidro moído em teores mais elevados, otimizando o teor de substituição para ($f_{ck} \geq 20$ MPa).

Realizar ensaios com vidro moído de granulometrias e tratamentos superficiais distintos para determinar a configuração ideal que maximize o efeito pozolânico e minimize o potencial RAA. Estudos de viabilidade normativa desenvolvem subsídios técnicos e dados experimentais robustos para a proposição de diretrizes e requisitos normativos específicos (ABNT) para o uso do vidro moído como agregado miúdo alternativo no concreto brasileiro.

Essas observações reforçam a importância de estudos complementares que

avaliem não apenas a resistência à compressão, mas também propriedades de durabilidade, absorção de água, reatividade álcali-sílica e comportamento em longo prazo, de modo a ampliar a compreensão sobre o potencial do vidro moído como insumo alternativo para a produção de concretos sustentáveis no contexto brasileiro.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo principal avaliar a viabilidade da utilização do vidro moído como substituto parcial do agregado miúdo na produção de concreto, considerando os aspectos técnicos.

Com base na revisão bibliográfica e nos ensaios realizados, pôde-se constatar que a incorporação de vidro moído ao concreto, quando efetuada em proporções controladas, é uma alternativa tecnicamente viável, sem comprometer significativamente a resistência mecânica e a trabalhabilidade do material.

O estudo demonstrou que a substituição parcial da areia por vidro moído, em proporções de até 20%, não compromete a resistência à compressão e ainda pode proporcionar benefícios à trabalhabilidade do concreto. Este resultado reforça a viabilidade técnica do uso do vidro moído como agregado alternativo em concretos convencionais, contribuindo para a redução do consumo de recursos naturais e o reaproveitamento de resíduos.

Por outro lado, percentuais de substituição acima de 20% mostraram queda relevante de desempenho, sobretudo aos 28 dias de cura, o que indica a necessidade de controle rigoroso da dosagem e avaliação prévia de cada aplicação.

Como recomendação para trabalhos futuros, sugere-se a investigação de outros parâmetros de desempenho, como resistência à tração, módulo de elasticidade, absorção capilar, durabilidade frente a agentes agressivos e análise microestrutural, além de estudos sobre a mitigação da reação álcali-sílica.

Dessa forma, este trabalho contribui para ampliar o conhecimento sobre a incorporação de resíduos vítreos no concreto e abre caminho para sua aplicação segura e sustentável na construção civil, especialmente em elementos não estruturais e pavimentação.

REFERÊNCIAS

ALLEN, E.; IANO, J. *Fundamentos de Engenharia de Edificações: materiais e métodos*. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 7212:2012*. Execução de concreto dosado em central. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 5738:2015*. Concreto – moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 5739:2018*. Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 7211:2019*. Agregados para concreto – especificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 7215: 2019*. Cimento Portland — Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 16889:2020*. Concreto fresco – consistência (slump test). fresco – consistência (slump test). Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 12655:2023*. Concreto de cimento Portland – preparo, controle, recebimento e aceitação. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

BASTOS, P. S. *Fundamentos do concreto armado*. São Paulo: Universidade Estadual Paulista, 2023.

BAUER, L.A.F. *Materiais de Construção*. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora, 5a ed., 2v, 2000.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. *Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução*. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2020.

JOHN, V. M.; PACCA, S. A.; ANGULO, S. C.; CAMPOS, E. F. C; Strategies to escalate the use of LCA based decision making in the world-wide industry. CBCS, 2013.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. *Concreto: microestrutura, propriedades e materiais*. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014. 742 p. ISBN 978-85-98576-21-3.

NEVILLE, A. M. *Propriedades do concreto*. 5. ed. São Paulo: Bookman, 2015. 912 p. ISBN 978-85-8260-366-6.

REVISTA MATÉRIA. *Produção e reciclagem de vidro no Brasil*. 2020.

SANTOS, B. N. *Avaliação da resistência à compressão do concreto via ensaios não destrutivos: estudo comparativo*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. Belo Horizonte, 2021. 125 f.

SANTOS, C. N.; MIRANDA, L. C.; MARTINS, A. M. *Análise do Desempenho de Concretos Produzidos com Vidro*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade de Rio Verde (UniRV), Rio Verde, 2018. 18 f.

SILVA, G. B. S.; LOPES, R. K.; PIOVESAN, J. C. Efeitos da substituição parcial de areia por vidro moído na produção de argamassas. *Revista Foco*, v.17 n.10, e6673. p.01-16, 2024.