

APLICAÇÃO DE RESÍDUO DE VIDRO NO CONCRETO COMO SUBSTITUTO PARCIAL À AREIA

Allan Araujo Pereira¹, Rone Cleison Souza de Oliveira², Silvia Paula Sossai Altoé³, José Venâncio Pinheiro Rotta⁴, Isadora Bedusqui de Goes Radke⁵

¹Acadêmico do Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – AP, COECI.
allanpereira@alunos.utfpr.edu.br

²Acadêmico do Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – AP, COECI.
roneoliveira@alunos.utfpr.edu.br

³Docente, Doutora, Orientadora, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá. spsaltoe@uem.br

⁴Mestrando, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá. josevprotta@hotmail.com

⁵Mestranda, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá. isadora_goes@hotmail.com

RESUMO

A utilização de resíduos como material substituto parcial ou total dos componentes do concreto é uma alternativa às tecnologias tradicionais que visa minimizar a extração desequilibrada dos recursos naturais. Este trabalho tem como objetivo analisar a influência da substituição de areia por resíduo de vidro no concreto nos teores de 10, 20 e 30%. Para atingir este objetivo, realizou-se a caracterização dos resíduos utilizados, fabricação de corpos de prova de concretos com diferentes teores de substituição parcial de agregado miúdo, determinação da resistência à compressão e absorção de água. A partir da análise comparativa entre resultados os ensaios das amostras com e sem a substituição, verificou-se que o pó de vidro é um resíduo viável como um substituto parcial do agregado miúdo para a fabricação de elementos não estruturais na construção civil que não necessitem de alta resistência à compressão, como os pavers e placas de concreto para o passeio público. Assim, outros estudos são necessários para complementar a compreensão da aplicação do resíduo e suas influências na característica dos concretos.

PALAVRAS-CHAVE: Pó de vidro; Reaproveitamento; Sustentabilidade.

1 INTRODUÇÃO

Associados ao desenvolvimento econômico das últimas décadas, estão os impactos ambientais e sociais. Um acúmulo de capital e de bens de consumo acarretou um aumento indiscriminado na degradação ambiental. Nesse contexto, sustentabilidade é uma preocupação de todos os países, e cada vez mais alternativas para reduzir o consumo dos recursos naturais e minimizar os danos ao ambiente são discutidas com objetivo de melhora da qualidade de vida e utilização consciente dos recursos naturais (PIMENTA, NARDELLI, 2015)

As autoras comentam ainda que, apenas a partir de 1970 algumas organizações internacionais e ambientalistas iniciaram as discussões sobre a temática. Destaca-se em 1992 a realização da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, conhecida como ECO-92, no Rio de Janeiro. Tal encontro foi grande marco em se tratando de preservação do meio ambiente com a aprovação de cinco documentos oficiais: três convenções (Biodiversidade, Desertificação e Mudanças Climáticas), uma Declaração de Princípios e a Agenda 21.

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004, p. 1), a norma NBR 10004 define os resíduos sólidos como:

Resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

O gerenciamento inadequado desses resíduos provoca danos tanto à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices, quanto ao meio ambiente, como por exemplo, poluição do ar, inundações, contaminação nos lençóis freáticos. Muitas cidades ainda destinam seus resíduos sólidos em vazadouros a céu aberto, também conhecido como lixões, em que não há controle por critérios técnicos e medidas de proteção ambiental (BORGES, 2016).

Assim, sendo o concreto é um dos materiais mais utilizados na construção civil, devido a suas características próprias de aplicação como durabilidade, facilidade de assumir formas diferentes e sua versatilidade de aplicação em projetos arquitetônicos, há também uma grande preocupação em se tratando de impactos ambientais (BARROS, 2016). Apesar dos materiais que compõem o concreto, água, agregado graúdo e agregado miúdo serem facilmente encontrados no mercado, Bendixen, *et al* (2019) alertam que no meio deste século a demanda por agregados irá superar a oferta, e a capacidade natural de renovação dos recursos será excedida.

Em busca de materiais alternativos para a fabricação de concreto, diversas adições, ou substituições, minerais são pesquisadas e algumas já são consolidadas no mercado. Tal prática de já é realizada no Brasil há mais de 50 anos. Entre 1990 e 2018, o país conseguiu reduzir a relação clínquer/cimento de 80% para 69%, sendo o maior teor de uso de adições no mundo. A previsão é que esse percentual possa ser reduzido para 50% em 2050 (SNIC, 2019). Dentre as adições, o resíduo de vidro gerado pelo processo de lapidação do vidro, ou ainda de outros processos, que inicialmente seria descartado e enviado para os aterros sanitários das cidades, tem ganhado espaço nas pesquisas para a verificação de sua aplicação como substituo parcial da areia e/ou do cimento.

Este trabalho tem como objetivo de analisar a influência da substituição parcial da areia por pó de vidro (PDV) em teores de 10, 20 e 30% de adição, a partir de parâmetros de resistência do concreto e teor de absorção de água. Para verificar a potencialidade da proposta, comparou-se os resultados obtidos com a amostra referência, ou seja, sem a utilização do resíduo.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MATERIAIS

2.1.1. Aglomerante

Utilizou-se o cimento Portland CP II Z 32, da marca VOTORAN, de acordo com os parâmetros da norma NBR 16697 (ABNT, 2018). O material foi escolhido por ser bastante utilizado na construção civil, além da ampla disponibilidade no mercado.

2.1.2 Agregados

O agregado miúdo utilizado foi a areia com granulometria média e proveniente de fornecedores da região de Apucarana-PR. Da mesma região, utilizou-se como agregado graúdo a brita basáltica, que, em uma primeira caracterização, foi definido como brita zero granítica de diâmetro entre 4,8mm a 95mm.

2.1.3 Água

Para a produção do concreto e o processo de cura por imersão, utilizou-se água potável fornecida pela Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR, empresa tal que abastece a cidade de Apucarana-PR.

2.1.4 Pó de Vidro

O resíduo utilizado nos ensaios é proveniente do processo de moldagem das peças em vidro na empresa Cristal Sete Vidros Temperados, que se encontra no parque industrial do município de Apucarana, sendo uma das maiores empresas no processo de moldagem de vidros na região do município. Os pedidos são confeccionados de forma abrasiva a partir de um processo de laminação de placas de vidro. Tal procedimento produz grande quantidade de resíduo na forma de lodo e com partículas de materiais metálicos. Em média, a empresa gera em torno de 1000m² de vidro por mês, resultando em aproximadamente 15 toneladas de lodo mensalmente, que é destinado à uma empresa especializada em destinação de resíduos químicos.

2.1.5 Molde

Os corpos de prova foram produzidos em moldes metálicos com formato cilíndrico com dimensões de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura, mantendo o mesmo para todos os ensaios realizados nesta pesquisa. O procedimento para a moldagem e o formato dos corpos de prova seguem os parâmetros definidos pela ABNT NBR 7222 (ABNT, 2011). Na Figura 01 pode-se observar os materiais constituintes para a fabricação dos corpos de prova.



Figura 1: Materiais para a confecção do concreto
Fonte: Dados da pesquisa

2.2 MÉTODOS

2.2.1. Caracterização do pó de vidro

Como o resíduo possui uma textura pastosa, a amostra foi seca em área coberta e ventilada, seguida por um primeiro processo de destorrimento. Depois, realizou-se a secagem do material em estufa a 105°C, seguido por um segundo processo de destorrimento e armazenamento em reservatórios vedados. Dessa forma, o pó de vidro foi caracterizado de acordo com os parâmetros de teor de umidade, dados pela NBR 6458 (ABNT, 2016), e a classificação do resíduo, em acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004).

2.2.2. Dosagem e moldagem dos corpos de prova

A dosagem foi realizada de forma análoga à metodologia desenvolvida por Nunes (2009). A partir do Método IPT/EPUSP adaptado por Helene e Terzian (1992) para concretos secos, chegou-se na proporção de 1:2,06:2,94 com consumo de cimento de 424 kg/m³, sendo a relação água/cimento igual a 0,55.

Para o traço referência (T0), os corpos de prova de concreto foram preparados sem a substituição do pó de vidro (PDV). Já para as amostras com substituição parcial da areia pelo resíduo, utilizou-se as proporções de 10, 20 e 30% em massa. As porcentagens e o tempo de cura utilizados nos ensaios foram definidos a partir da revisão bibliográfica realizada, a qual mostrou, em geral, a inviabilidade de substituição do agregado miúdo pelo o resíduo vidro em porcentagens maiores do que 30%.

A partir disso, deseja-se obter um concreto com uma resistência à compressão igual ou superior ao traço referência aos 28 dias de cura. Os teores de substituição da areia pelo PDV e a quantidade em massa dos materiais utilizados para cada traço estão dispostos na Tabela 1.

Tabela 1: Porcentagem de substituição e traços em massa

Traço	Pó de Vidro (%)	Cimento (g)	Areia (g)	Pó de Vidro (g)	Brita (g)	Água (mL)
T0	0	500	1030	0	1470	275
T1	10	500	927	103	1470	275
T2	20	500	824	206	1470	325
T3	30	500	721	309	1470	425

Fonte: Dados da pesquisa

A moldagem dos corpos de prova foi realizada no Laboratório de Apoio de Materiais do Departamento do Curso de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Apucarana, utilizando ferramentas que auxiliaram na produção do concreto. A dimensão das peças confeccionadas foi de Ø50x100 mm, condicionadas pelos moldes cilíndricos metálicos.

2.2.3. Propriedades do Concreto

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados de acordo com a norma NBR 5739 (ABNT, 2018) em cada traço proposto com diferentes teores de substituição a fim de se determinar a resistência característica à compressão. Foram moldados 3 corpos de prova para cada traço definido para ser ensaiado na idade de 28 dias. Para a absorção de água, conforme previsto na NBR 9778 (ABNT, 2005), confeccionou-se 3 corpos de prova para cada traço, também na idade de 28 dias. Considerando os dois parâmetros, totalizaram-se 24 corpos de prova necessários para a realização da pesquisa.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Caracterização do Pó de Vidro

A granulométrica do resíduo de vidro utilizado foi 75 µm, que se enquadra nas areias médias de acordo com a classificação granulométrica proposta pela NBR 6502 (ABNT, 1995). Segundo a NBR 10004 (ABNT, 2004) o resíduo pode ser classificado como Resíduo não perigoso – Classe II A – não inerte.

3.2 Resistência à compressão

Os corpos de prova de concreto foram curados em 28 dias e em sequência, rompidos em uma prensa hidráulica. Os resultados dos ensaios de resistência à compressão obtidos através da média entre as amostras estão apresentados na Figura 2. Observa-se uma redução significativa na resistência à compressão à medida que se aumenta o teor de substituição resíduo no concreto.

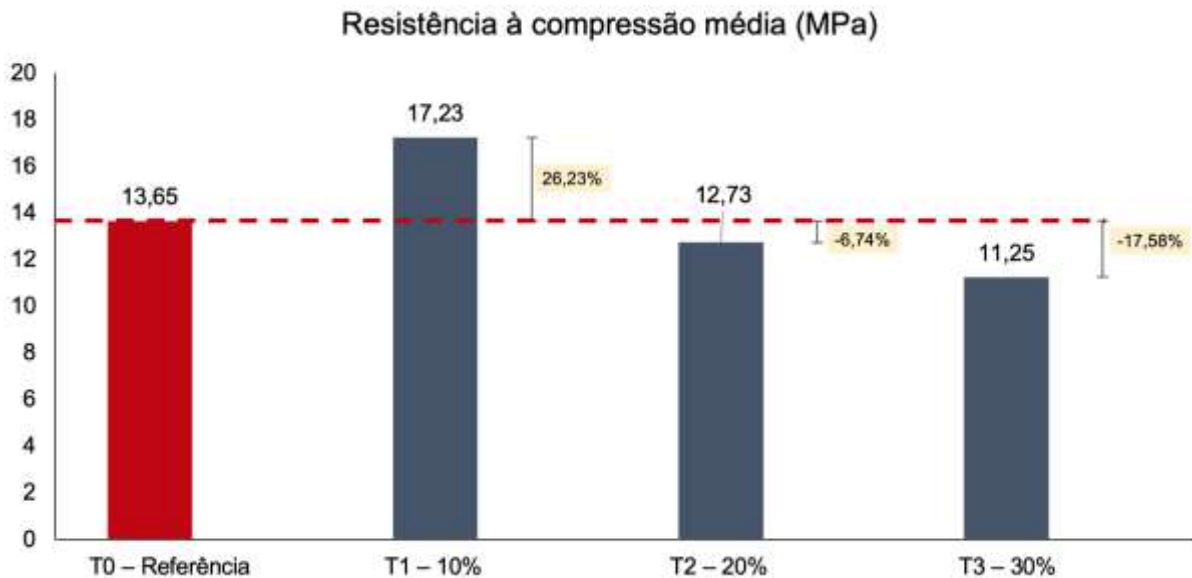


Figura 2: Resistência à compressão média (σ_m)

Fonte: Dados da pesquisa

O melhor resultado de resistência a compressão foi no traço T1, com a substituição de 10% de areia pelo pó de vidro, em que houve um aumento da tensão média de ruptura em 26,23% quando comparado ao traço referência, e com o valor de 17,23 MPa. Vale ressaltar que como os traços T2 e T3 apresentaram resultados inferiores ao traço referência, tornam-se inviáveis para execução de elementos estruturais devido aos requisitos mínimos e de qualidade, porém podem ser utilizados como pavimentos de baixa utilização de carga, ou seja, em calçadas de jardim, por exemplo.

De acordo com Polley *et al.* (1998) a diminuição da resistência à compressão do concreto, devido ao aumento da massa do resíduo adicionada, pode ser associada à diferença na força de ligação entre a pasta e o agregado. As forças de ligação entre as partículas de vidro e a pasta são mais fracas se comparadas com a ligação da pasta com as partículas de agregados naturais. Logo, um aumento da massa de vidro no concreto aumenta a massa de agregado ligada mais fracamente à pasta.

3.3 Absorção de água

Os resultados obtidos nos ensaios de absorção de água por imersão estão ilustrados na Figura 3. Observa-se um aumento do índice de absorção de água em função do aumento da substituição da areia pelo pó de vidro adicionada ao concreto em todos os traços. Conforme a pesquisa de Su e Chen (2002), a adição de pó de vidro sobre a massa de areia, em porcentagens acima de 5% acarreta a presença de uma quantidade maior de material hidrofóbico, o vidro. Isto faz com que a sua hidratação seja comprometida, o que por sua vez gera um aumento dos vazios da massa e a redução da sua resistência à compressão.



Figura 3: Índice de absorção de água
Fonte: Dados da pesquisa

À medida que se aumenta o teor de substituição da areia pelo pó de vidro, os resultados mostram que há um aumento na permeabilidade do concreto, com valores até 57,38% maiores que no traço referência. Entre as substituições, o T1, com 10% de resíduo, resultou no menor índice de absorção, sendo 13,87% maior do que no T0. Ressalta-se que, quanto menor for o índice de absorção de água, maior é a compactação do concreto, o que resulta em melhorias em se tratando de durabilidade.

4 CONCLUSÃO

De modo geral, os resíduos sólidos continuam sendo uma problemática para a sociedade, pois ainda não há o descarte apropriado. Isso ocorre principalmente devido a quatro adversidades encontradas: ausência de informações populares sobre o destino correto dos resíduos, educação ambiental, irregularidade na destinação dos resíduos nos municípios e falta de locais adequados para a descarte final dos resíduos sólidos.

Com a evolução da sociedade, o consumo de matérias no geral vem aumentando e conseqüentemente, ocorrendo de forma mais acentuada na construção civil. A utilização de resíduos sólidos tornou-se uma alternativa cada vez mais interessante nos últimos anos para a construção civil, uma vez que o seu uso diminui a utilização de matérias primas finitas como areia, brita e cimento.

Durante o desenvolvimento do trabalho, verificou-se que o uso da adição em teores elevados pode comprometer a resistência inicial do concreto, acarretando uma menor resistência à compressão em relação ao concreto padrão. No traço T1, com 10% de adição, houve um aumento da resistência em 26,23%, quando comparado ao traço referência, chegando a 17,23 MPa. Os resultados obtidos nos traços T2 e T3 podem ser considerados satisfatórios, apesar da diminuição da resistência, uma vez que os resultados foram respectivamente 6,54% e 17,58% menores que no T0. Ao se analisar que a substituição foi alta, de 20% e 30% do agregado miúdo pelo pó de vidro, e que não se acrescentou nenhum outro material para compensar a perda da resistência a compressão, verifica-se a potencialidade do resíduo devido aos resultados positivos.

Em relação a absorção de água, foi possível notar o aumento do teor em todas as substituições propostas, uma vez que T0 possuía 8,94% de absorção de água, enquanto T1, T2 e T3 obtiverem, respectivamente, 10,18%, 11,99% e 14,07% de absorção de água. Destaca-se que o T3 resultou em um valor 57,38% maior do que no T0. Posto isso, há a

necessidade de estudos futuros para verificar a influência da absorção de água e os possíveis efeitos negativos na amostra, além da análise de outros parâmetros como resistência à compressão em maiores idades e ensaios de durabilidade.

Portanto, a utilização de pó de vidro como substituto parcial da areia possui grande potencial para a produção de concreto e deve ser considerado como uma alternativa sustentável para setor de construção civil, uma vez que o resíduo que seria descartado será reutilizado, e deixar-se-á de extrair parte dos recursos naturais, que são finitos.

REFERÊNCIAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6458: Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6502: Rochas e solos. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7222: Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos -. Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 10004: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14207: Boxes de banheiro fabricados com vidro de segurança. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16697: Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

BARROS, L. M. **Concreto de alta resistência a partir de matérias-primas amazônicas e vidro reciclado.** 2016. 202 f. Dissertação (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo. São Carlos, 2016.

BENDIXEN, M.; BEST, J.; HACKNEY, C.; IVERSEN, L.L. Time Is Running Out for Sand. **Nature**, v. 571, n. 1, p. 21–31, jul., 2019. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/d41586-019-02042-4>. Acesso em: 02 jul. 2021.

BORGES, K. **O estudo do monitoramento dos impactos pós-implantação do aterro sanitário de Uberlândia/MG.** 2016. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2016.

HELENE, P.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo:Pini/Senai, 1992, 313p.

NUNES, I. H. S. **Estudo das características físicas e químicas da cinza do bagaço de cana-de-açúcar para uso na construção**. 2009. 67 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá.

PIMENTA, M. F. F.; NARDELLI, A. M. B. Desenvolvimento sustentável: os avanços na discussão sobre os temas ambientais lançados pela conferência das Nações Unidas sobre o desenvolvimento sustentável, Rio+20 e os desafios para os próximos 20 anos. **Perspectiva**, v. 33, n. 3, 2015.

POLLEY C, CRAMER SM, DE LA CRUZ RV. Potential for using waste glass in Portland cement concrete. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v.10, 1998.

Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC). **Relatório Anual 2019**. Disponível em: http://snic.org.br/assets/pdf/relatorio_anual/rel_anual_2019.pdf. Acesso em: 03 jul. 2021.

SU, N., & CHEN, J. S. (2002). Engineering properties of asphalt concrete made with recycled glass. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 35, n. 4, 2002.