

CONCRETO ESPECIAL PRODUZIDO A PARTIR DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND POR RESÍDUOS DE VIDRO

A. L. B. da Silva¹; F. F. A. Pereira²; G. L. S. da Costa³; S.A. Marques⁴

E-mail: allysonbezerra@yahoo.com.br¹; flaviano.andrade@live.com²; gabriel_louiz11@hotmail.com³; samuel_apolinario12@hotmail.com⁴

RESUMO

Novas alternativas surgem e estão sendo pesquisada em busca do desenvolvimento sustentável da construção civil, indústria que a cada ano apresenta maiores saltos de crescimento no Brasil e que apresenta seu melhor momento no Rio Grande do Norte. Este trabalho propõe a reutilização do resíduo de vidro para produção de concreto, feito através da substituição de parte do cimento Portland por vidro moído. Especificamente pela comparação das propriedades mecânicas de concretos fabricados com o novo componente, visando a sua utilização para fins estruturais. Este trabalho caracteriza a potencialidade do uso de resíduo de vidro, como componente na produção de concreto compósito, material multifásico artificialmente fabricado. Mesmo na forma de "lixo", o vidro apresenta na sua estrutura uma forma de sílica susceptível de se combinar com os hidróxidos de cálcio do cimento Portland que constituem

o concreto. Resumidamente, este resíduo possui grande potencial de ser transformado em pozolanas. Os materiais selecionados são constituídos por vidros reciclados de vidraçarias coletados na cidade de Mossoró. Após moagem, os resíduos foram reduzidos a três intervalos de tamanhos de grãos (0-125 μ m). Foram realizados corpos-de-prova com substituição parcial do cimento por estes materiais (5, 10, 15 e 20%) e determinou-se a resistência à compressão (7 e 14 dias), e módulo de elasticidade. Os valores obtidos foram comparados com um corpo-de-prova referência, sem a adição de vidro. A presente pesquisa converge para a utilização do vidro, não reciclado, na substituição parcial de 5% e 10% na produção de concretos, dando assim um fim adequado ao resíduo de vidro. Nessas porcentagens os resultados de resistência estão em conformidade com a NBR 6118/2007 para um concreto com fins estruturais.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto, vidro, resistência, cimento.

SPECIAL CONCRETE PRODUCED FROM THE PARTIAL REPLACEMENT OF PORTLAND CEMENT IN WASTE GLASS

ABSTRACT

New alternatives are being researched and come in search of sustainable development in construction, industry each year has more jumps growth in Brazil, and has his best moment in Rio Grande do Norte. This work suggests the reuse of the waste glass for the production of concrete made by replacing part of Portland cement with crushed glass. Specifically, by comparing the mechanical properties of concrete made with the new component, aiming their use for structural purposes. This study characterizes the potential use of waste glass as a component in the production of concrete composite, multiphase material artificially manufactured. Even in the form of "noise", the glass has a structure in form of silica which can combine with the hydroxide of calcium are

Portland cement concrete. Briefly, this residue has great potential to be transformed into pozzolans. The selected materials are made of recycled glass glazing collected in the town of Mossley. After milling, the residuals were reduced to three ranges of grain sizes (0-125 μ m). Bodies were made of the test piece with partial replacement of cement by the materials (5, 10, 15 and 20%) was determined and the compressive strength (7 and 14 days), and modulus of elasticity. The values obtained were compared with a body-of-reference test without the addition of glass. This search converges towards the use of glass, non-recycled, in partial replacement of 5% and 10% in the production of concrete and thus provide an end suitable for glass waste.

KEYWORDS: concrete, glass, strength, cement.

1 INTRODUÇÃO

A inovação tecnológica, ou seja, o surgimento de novos materiais vem crescendo bastante ao longo do tempo, após um período de produção onde nem se imaginava a preservação de recursos naturais. A consciência ambiental tende a crescer à medida que os recursos utilizados pelos mais tradicionais métodos construtivos se apresentam cada vez mais escassos na natureza, como já ocorre nos dias atuais.

O cimento é um material produzido em larga escala e o aglomerante mais utilizado nas construções em geral. Sua aplicação vai desde fabricação de peças estruturais, com o concreto, ao emprego em revestimentos, nas argamassas em geral.

Graças a esse material é possível criar elementos rígidos em diversos formatos, pois, em estado fresco é moldável.

Dentre esses e outros fatores tornam o cimento um material de grande valia.

A pesquisa dentro dessa área é muito importante para o desenvolvimento em geral de várias áreas industriais, principalmente da construção civil.

Segundo OLIVEIRA, M. C. R:

“O vidro tem inúmeras aplicações, podendo ser encontrado facilmente no nosso cotidiano, na enorme diversidade de artefatos, na construção civil, em esquadrias ou elementos de vedação vertical, etc.

ALVES destaca aplicações especiais, como: vidros oftálmicos; vidros ópticos especiais destinados à proteção nuclear; fibras de vidro, muito utilizadas em construção visando ao isolamento térmico e acústico; fibras ópticas, ideais para as comunicações modernas; vitrocerâmicas.”

Segundo pesquisa da Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro (ABIVIDRO), a exportação de vidros no país cresceu de US\$ 92 milhões em 2003 para US\$ 130 milhões em 2008 e o investimento quase quadruplicou, de US\$ 66 milhões para US\$ 230 milhões, e o faturamento subiu de US\$ 968 milhões em 2003 para US\$ 1.278 milhões em 2008.

Em conseqüência da diversidade de aplicações do vidro, é gerada constantemente, uma grande quantidade de resíduos. E diferente de outros materiais, o vidro possui um aproveitamento possível de 100% em sua reciclagem, ou seja, uma quantidade de vidro descartado e posteriormente reciclado pode produzir essa mesma quantidade de vidro novo da mesma qualidade. Podendo acarretar uma economia de energia de 4% e redução de 5% na liberação de CO₂ na atmosfera na utilização de 10% de caco de vidro na produção de vidro novo.

A verificação da reatividade do vidro em baixa granulometria junto do cimento com aglomerante ajudam a verificar possíveis futuras aplicações desse material ou de seu processo de produção dentro da construção civil.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Concreto

O concreto, material mais consumido no mundo após a água, é composto basicamente de água, cimento, areia e brita.

O Concreto é um material compósito feito com partículas grandes, constituído de cimento (matriz) e areia e brita (elementos particulados) (CALLISTER, 2006.).

Hoje, o concreto pode apresentar-se com diferentes combinações, além do convencional. Outros agregados poderão ser utilizados como: isopor, argila expandida, vermiculita, hematita, barita, etc. Novos aglomerantes podem ser adicionados, como: sílica ativa, metacaulim, pozolanas, etc. Os concretos, também recebem aditivos especiais: retardadores, aceleradores, plastificantes, impermeabilizantes, pigmentos, etc.

A Resistência do Concreto à Compressão (f_{ck}) é uma das propriedades mecânicas do concreto e mais relevante utilizado nos cálculos estruturais. Sua unidade de medida é o MPa (Mega Pascal).

2.2 Vidro

Segundo SHACHELFORD (2008) o vidro é um material cerâmico, sólido não-cristalino de óxido tradicional. Os silicatos, especialmente, têm custo moderado devido à abundância dos elementos Si e O na crosta terrestre.

O vidro é um material frágil, porém não fraco. Ele tem grande resistência à ruptura, podendo mesmo ser utilizado em pisos, é duro e rígido, porém não tenaz não sendo apropriado para aplicações sujeitas a impactos. Pode-se calcular teoricamente a resistência de um material frágil, pois a força necessária para rompê-lo é a necessária para romper as ligações dos seus átomos. No caso dos vidros comerciais esta força é da ordem de 21 GPa (2100 Kg/mm²). Porém na prática raramente se consegue, em condições muito especiais, chegar a 15 GPa (1500 Kg/mm²) e vidros comuns como de uma garrafa de cerveja, ou de janela apresentam resistência da ordem de 0,01 a 0,1 GPa (1 a 10 Kg/mm²).

Entre as principais características do vidro destaca-se sua elevada durabilidade química. Não obstante suas boas qualidades, nem os melhores vidros (por exemplo o de SiO₂) podem ser considerados rigorosamente inertes.

“Para grande parte da manufatura rotineira do vidro, o SiO₂ está prontamente disponível em depósitos de areia locais com pureza adequada.” (SHACHELFORD, 2008.) Essa característica permite a utilização em grande escala do vidro na indústria, implicando numa grande geração de resíduos. Novas pesquisas buscam desenvolver destinos viáveis a esses resíduos, tornando a manufatura do vidro mais sustentável.

O resíduo de vidro utilizado neste artigo é proveniente de vidraçarias e foi apenas moído, sem nenhum outro beneficiamento, com o objetivo de evitar um possível gasto de energia com tratamentos.

2.3 Cimento

O cimento Portland é um dos mais importantes materiais de construção e altamente empregado pela humanidade. Por definição, é um “aglomerante hidráulico resultante da mistura homogênea de clínquer Portland, gesso e adições normalizadas finamente moídos”. Aglomerante porque tem a propriedade de unir outros materiais. Hidráulico porque reage (hidrata) ao se misturar com água e depois de endurecido ganha características de rocha artificial, mantendo suas propriedades, principalmente se permanecer imerso em água por aproximadamente sete dias.

O cimento utilizado, CP V-ARI - Cimento Portland de alta resistência inicial tem alta reatividade em baixas idades em função do grau de moagem a que é submetido. O clínquer é o mesmo utilizado para a fabricação de um cimento convencional, mas permanece no moinho por um tempo mais prolongado. O cimento continua ganhando resistência até os 28 dias, atingindo valores mais elevados que os demais, proporcionando maior rendimento ao concreto. É largamente utilizado em produção industrial de artefatos, onde se exige deforma rápida, concreto protendido pré e pós-tensionado, pisos industriais e argamassa armada. Devido ao alto calor de hidratação, não é indicado para concreto massa. Contém adição de até 5% de fíler calcário. A ausência de pozolana não o recomenda para concretos com agregados reativos. (CIMENTO.ORG)

3 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Para se determinar a viabilidade da substituição de parte do agregado por vidro foram realizados os ensaios de compressão axial e módulo de elasticidade do concreto compósito. Assim, foram produzidos corpos de prova de concretos com substituição parcial do cimento pelo resíduo de vidro em quatro diferentes porcentagens (5, 10, 15 e 20%), além da referência, sem o resíduo. Outros ensaios visaram à caracterização dos componentes do concreto, como granulometria dos agregados, do resíduo de vidro, umidade e massa específica do vidro.

3.1 Caracterização dos materiais

3.1.1 Teor de umidade

A determinação do teor de umidade dos agregados (areia, vidro e britas I e II) foi obtida por procedimentos indicados ABNT/NBR 6457/86 - Amostras de Solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.

Foram utilizadas amostras de cerca de 50g de cada agregado, em seu estado natural. Logo em seguida, as amostras foram dispostas em estufa, com temperatura entre 105°C e 110°C, por cerca 24h. Obteve-se o peso das amostras secas e foi então calculado o teor de umidade a partir da formulação a seguir:

$$h\% = \frac{P_t - P_s}{P_s}$$

3.1.2 Granulometria

Para a análise granulométrica, os agregados foram previamente secos em estufa por um dia (105 - 110)°C. Após esse período, o ensaio foi realizado com duas amostras de 1kg, cada, utilizando o jogo de peneiras em ordem decrescente de abertura de cima para baixo, além do fundo, especificado na “Tabela 1” abaixo:

Tabela 1: Série de peneiras

USS	Abertura (mm)
3/4"	19
1/2"	12,5
3/8"	9,5
4	4,8
8	2,4
16	1,2
30	0,6
50	0,3
100	0,15
200	0,075
Fundo	Fundo

O ensaio granulométrico foi realizado conforme a ABNT/NBR 0717. As peneiras foram agitadas com o auxílio do agitador mecânico associado ao processo manual. O material retido em cada peneira foi pesado com uma balança digital de precisão de 0,01g. A partir da porcentagem do peso do agregado presente em cada peneira, foi possível obter a curva granulométrica, juntamente com o diâmetro máximo e módulo de finura.

3.1.3 Massa específica do vidro

A determinação da massa específica do vidro foi obtida de acordo com a ABNT/NBR 9776. Inicialmente, o vidro foi posto em estufa num período de 24h, à temperatura de 105 - 110 °C. Em seguida foram pesadas duas amostras de 500g, cada, com o auxílio da mesma balança utilizada no ensaio anterior. Iniciou-se o ensaio adicionando 200ml de água destilada no “Frasco de Chapman”, e logo em seguida os 500g de vidro.

Após ser expulso o ar do frasco, foi verificada a graduação e obtido o volume total da mistura, obtendo assim a massa específica do material.

3.2 Preparação dos Corpos de Prova.

A preparação dos corpos de prova para os ensaios de caracterização dos compósitos foram produzidos, de acordo com a NBR 12821-ABNT (2009), em betoneira de eixo inclinado, com

capacidade para 360 litros, com a dosagem definida pelo cálculo de um traço que determina o fck de 25 MPa.

Após a produção do concreto reforçado com resíduo de vidro, foram moldados corpos-de-prova cilíndricos 10 X 20 cm, com auxílio de um vibrador de imersão, em conformidade com a NBR 5738 – ABNT (2003). O arrasamento do corpo de prova foi realizado com colher de pedreiro e a cura por imersão em tanque de cura.

Antes da realização do ensaio a compressão, a retificação foi feita em máquina retificadora.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Teor de umidade dos agregados

As umidades dos agregados estão descritas na “Tabela 2”

Tabela 2: umidades dos agregados

Agregado	Pt (Peso total)	Ps (Peso seco)	Pa (Pt-Ps)	h% (Pa/Ps)
Vidro	54,18	52,63	1,55	2,9
Areia	55,60	54,97	0,64	1,15
Britas I e II	64,70	64,37	0,33	0,5

Com a umidade dos agregados determinada, foi possível fazer a correção da quantidade de água no traço do concreto.

4.2 Resistência à compressão e Módulo de Elasticidade

A seguir estão dispostos a tabela 3 que apresenta os resultados de resistência a compressão e módulo de elasticidade:

Tabela 3 – Resistência à Compressão e Módulo de Elasticidade

Porcentagem de vidro	Tempo de cura	Resistência à compressão axial	Módulo de elasticidade
%	Dias	MPa	MPa
0	7	33,06	6807
	14	36,12	7470
5	7	25,79	6004
	14	27,26	5958
10	7	27,51	6723
	14	26,05	6198
15	7	19,54	4631
	14	21,08	3556
20	7	13,68	3724
	14	10,91	2709

Como o cimento utilizado foi o CPV ARI RS, do fabricante Mizu, era esperado que a resistência de 25 MPa fosse alcançada a partir do sétimo dia após a moldagem, pela característica desse cimento de aceleração das reações de pega. Sendo assim, aos 7 dias após a moldagem, a resistência do corpo de prova referência foi de 27,81 MPa.

Nessa tabela é possível observar a resistência do concreto com as diferentes porcentagens de substituição de areia por vidro, além do corpo de prova referência, sem o resíduo de vidro.

Considerando que o traço foi dimensionado para um Fck de 30MPa, o corpo-de-prova referencia atendeu as exigências de resistência. Com valores chegando a 36,12 MPa aos 14 dias.

Considerando os resultados com substituição parcial de vidro por cimento de 5% a 20% os resultados foram abaixo da referência, porém isso não inviabiliza a pesquisa. Pois, para a porcentagem de 5% e 10% foram obtidos resultados acima de 25MPa, o que caracteriza-se como concreto estrutural de acordo com a NBR 6118/2007.

No lado esquerdo da tabela pode-se notar o módulo de elasticidade de cada concreto. Essa propriedade é relevante pelo fato do concreto ser um material compósito que não resiste bem a deformações, ela está ligada diretamente a sua rigidez.

Os corpos de prova com adição de vidro alcançou níveis menores de módulo de elasticidade. Mais uma vez, os resultados nas porcentagens de 5 e 10% foram satisfatórios, pois apresentaram-se próximos aos do corpo-de-prova referência.

É importante salientar que a presente pesquisa mostra, apenas, resultados preliminares de resistência, visto que foram utilizados apenas dois corpos-de-prova por cada idade de diferentes porcentagens. Além de que não foram feitos ensaios para as idades de 21 e aos 28 dias.

5 CONCLUSÕES

Os resultados encontrados foram pertinentes, ou seja, atenderam as necessidades exigidas. A substituição parcial do cimento por vidro se mostra uma alternativa viável, por ter apresentado resultados técnicos que caracterizam o compósito como aplicável enquanto material de construção, e sem maiores dificuldades de execução que o concreto usual.

O reaproveitamento do resíduo de vidro constitui um benefício importante em relação ao meio ambiente, visto que, retira um resíduo descartado anteriormente no ambiente, reinsertando-o no processo produtivo.

A reciclagem do resíduo de vidro, proposta neste artigo, é uma opção para destinar à quantia residual produzida pela indústria vidreira, por ser uma nova alternativa de reutilização que é bastante acessível. A inserção do resíduo de vidro em substituição de parte do agregado miúdo representa redução de consumo desta matéria prima, significando conseqüente diminuição do custo de produção do concreto.

A partir dos resultados encontrados de resistência à compressão e módulo de elasticidade é possível montar novas metodologias e objetivos em ensaios futuros.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Concreto- Procedimento para Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Rio de Janeiro: 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NRB 5739: Concreto - Ensaio de Compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NRB 6118: Projetos de Estruturas de Concreto. Rio de Janeiro: 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NRB 8002: Concreto endurecido – Determinação da velocidade de propagação de onda ultra-sônica. Rio de Janeiro: 1994.

A. L. B. SILVA ,F. F. A. PEREIRA, G. L.S. COSTA, M. C. R. OLIVEIRA, S. A. MARQUES, Resíduos de Vidro como Agregado Miúdo na Produção de Concretos. SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CONCRETOS ESPECIAIS, 5, 2012. Anais. Fortaleza/CE.

ASSOCIAÇÃO TÉCNICA BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS AUTOMÁTICAS DE VIDRO (ABIVIDRO). Disponível em: <http://www.abividro.org.br/>. Acesso em: abr/2012.

AKERMAN, Mauro. Natureza, Estrutura e Propriedades do Vidro. CETEV. 2000.

SHACKELFORD, James F. Introdução à Ciência dos Materiais Para Engenheiros. Trad. Daniel Vieira. 6.ed. São Paulo: Pearson, 2008.

CALLISTER, Willian D. Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais: uma abordagem integrada. Trad. Sergio M. S. Soares. 2.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

CP V-ARI - Cimento Portland de alta resistência inicial. Cimento.Org. Disponível em: <<http://www.cimento.org/site/cpv.htm>>. Acesso em: 22 mai. 2012.