

## *Influência da substituição da areia natural pelo vidro no desempenho mecânico do concreto*

O concreto é o material de construção mais utilizado no mundo. Ao passo desse elevado consumo, ocorre o desmatamento de áreas para a implantação de pedreiras e jazidas para extrair as matérias-primas utilizadas no concreto. Diante disso, diversas pesquisas buscam reduzir o extrativismo mineral e se aproximar do desenvolvimento sustentável com a utilização de resíduos no processo de produção do concreto. Muitos pesquisadores têm estudado a utilização de adições minerais em substituição ao cimento Portland e resíduos em substituição ao agregado graúdo e ao agregado miúdo. A presente pesquisa tem como objetivo estudar o desempenho mecânico e a consistência de concretos com substituição de 25%, 50%, 75% e 100% da areia natural pelo vidro. Foi feita a análise da granulometria dos agregados utilizados para realizar a correta dosagem e proporcionamento dos materiais com base no método da Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP. Para mensurar a consistência, foi realizado o ensaio de abatimento do tronco de cone em todos os traços analisados. Para avaliar o desempenho mecânico dos concretos, foram moldados cinco corpos de prova para cada traço, que foram rompidos aos 28 dias. Os resultados mostraram que alguns teores apresentaram menor fluidez em relação ao concreto referência e que o teor de 75% apresentou o melhor desempenho mecânico entre os traços analisados.

**Palavras-chave:** Concreto; Vidro; Desempenho Mecânico.

## *Influence of replacement of natural sand by glass on concrete mechanical performance*

Concrete is the most used building material in the world. As a result of this high consumption, deforestation of areas for quarrying takes place to extract the raw materials used in the concrete. Therefore, several researches have sought to reduce mineral extraction and to approach sustainable development with the use of waste in the concrete production process. Many researchers have studied the use of mineral additions to replace Portland cement and waste to replace the aggregates. The present research aims to study the mechanical performance and the consistency of concrete with substitution of 25%, 50%, 75% and 100% of natural sand by glass. The granulometry of the aggregates used to perform the correct dosing and proportioning of the materials based on the method of the Brazilian Association of Portland Cement was carried out. In order to measure the consistency, slump test was carried out on all concretes analyzed. To evaluate the mechanical performance of the concretes, five specimens were molded for each trait, which were ruptured at 28 days. The results showed that some contents presented less fluidity in relation to the reference concrete and that the content of 75% presented the best mechanical performance among the traits analyzed.

**Keywords:** Concrete; Glass; Mechanical Performance.

Topic: **Engenharia Civil**

Received: **12/02/2018**

Approved: **22/04/2018**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

**João Victor Freitas Barros Correia**

Universidade Tiradentes, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/6277929600614665>

[j.vfreitas2016@outlook.com](mailto:j.vfreitas2016@outlook.com)

**Yuri Sotero Bomfim Fraga**

Universidade de Brasília, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/5055016786232011>

[yurisotero.engcivil@gmail.com](mailto:yurisotero.engcivil@gmail.com)

**Ruann Carlos Silva Carneiro Ribeiro**

Universidade Tiradentes, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/4066565833118215>

[ruann\\_ribeiro@hotmail.com](mailto:ruann_ribeiro@hotmail.com)

**Mislaine Moura Lima**

Universidade Tiradentes, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/6971718514307300>

[mislaine.moura@souunit.com.br](mailto:mislaine.moura@souunit.com.br)



DOI: 10.6008/CBPC2318-3055.2018.001.0001

### Referencing this:

CORREIA, J. V. F. B.; FRAGA, Y. S. B.; RIBEIRO, R. C. S. C.; LIMA, M. M..  
Influência da substituição da areia natural pelo vidro no desempenho  
mecânico do concreto. **Engineering Sciences**, v.6, n.1, p.1-9, 2018.

DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2318-3055.2018.001.0001>

## **INTRODUÇÃO**

O concreto é um material pétreo incombustível com vasta utilização em inúmeros segmentos da engenharia, como habitação, estradas, urbanismo, saneamento e infraestrutura. Ele é o segundo material mais utilizado pelo homem, ficando atrás apenas da água. Devido aos problemas ambientais gerados pelo alto consumo de concreto pela sociedade moderna como o desmatamento de áreas para implantação de pedreiras, a comunidade científica tem buscado reduzir os impactos ambientais e se aproximar do desenvolvimento sustentável com o uso de energias alternativas e a reinserção de rejeitos e subprodutos de processos da escala produtiva na forma de materiais alternativos.

Como exemplo de prática mais sustentável, pode ser citado o uso de suprimentos energéticos alternativos nos processos de fabricação do cimento Portland. Nesses processos atualmente são usados: pneumáticos, borrachas, lodo de esgoto, tintas, solventes, papel, papelão, borras ácidas, refratários, resíduos de madeira e resíduos da construção civil.

O uso de agregado reciclado em concreto sem fim estrutural reserva o uso dos agregados naturais convencionais a fins mais nobres como em concretos estruturais. O vidro é um exemplo de material alvo de pesquisas visando a sua utilização em substituição parcial ou total dos agregados naturais em materiais cimentícios. Para tal, são necessários ainda mais estudos sobre as características dos concretos confeccionados com agregado de vidro a curto e longo prazo para analisar a viabilidade e delimitar as suas aplicações.

O vidro apresenta resistência à compressão superior a 1000 MPa, ou seja, 20 a 50 vezes a resistência à compressão de concretos estruturais. Além disso, ele possui resistência à tração em torno de 40 MPa, ou seja, de 8 a 20 vezes da resistência à tração de concretos estruturais. Apesar desse desempenho, ele é um material frágil e com baixo módulo de elasticidade.

Segundo Rashad (2014), a eliminação dos resíduos de vidro, incluindo o vidro doméstico, é um dos maiores desafios ambientais no mundo. Esse desafio continua a aumentar com o crescimento da quantidade de resíduos de vidro e a diminuição da capacidade dos aterros sanitários. Para minimizar o efeito do descarte incorreto do vidro no meio ambiente, diversos estudos são feitos para encontrar alternativas para a sua reciclagem. Uma das alternativas sustentáveis para reduzir o enorme volume de resíduos de vidro que não são reciclados e vão parar em aterros sanitários e na própria natureza é a sua utilização na construção civil, incorporando-o em misturas à base de cimento como na produção de concretos com vidro moído em substituição à areia.

Penacho et al. (2014) estudaram a caracterização físico-mecânica das argamassas produzidas com resíduos de vidro como agregado miúdo. O traço utilizado foi 1:4 (cimento:areia) em volume e os teores de substituição foram 20%, 50% e 100%, além do referêcia que foi sem substituição. Os resultados mostraram que a utilização do vidro melhorou o desempenho mecânico e a adesão ao substrato para os parâmetros de granulometria utilizados.

Yu et al. (2016) avaliaram a performance dos concretos produzidos com escória de aço e com resíduos de vidro, assim os parâmetros avaliados foram abatimento, densidade, módulo de elasticidade, resistência ao fogo, resistência à compressão e resistência à flexão. Os resultados mostraram que os resíduos de vidro podem aumentar a trabalhabilidade e com 17,5% de substituição do agregado graúdo pelo vidro observou-se pouca influência nas propriedades mecânicas do concreto. Além disso, devido às excelentes propriedades térmicas/mecânicas, os resíduos de vidro demonstraram a capacidade de melhorar a resistência ao fogo do concreto.

A reação álcali-sílica de argamassas produzidas com resíduos de vidro como agregado miúdo foi estudada por Topçu et al. (2008). Quando o vidro é utilizado como agregado em materiais cimentícios, ocorrem expansões e tensões internas devido à reação álcali-sílica, podendo gerar patologias devido ao aumento de fissuras e da permeabilidade, reduzindo a vida útil do material. Os resultados mostraram que a utilização de vidros transparentes provocaram maior expansão em comparação com o vidro verde e com o vidro marrom e que a expansão aumentou com o aumento da quantidade de vidro incorporada.

Com relação à reologia, Azevedo et al. (2017) estudaram a influência dos resíduos de vidro como agregado miúdo em argamassas em diferentes porcentagens. Os parâmetros de reologia são importantes para avaliar a eficiência da aplicação dos materiais cimentícios no estado fresco para evitar problemas de deslocamento dos revestimentos. As curvas de carga x deslocamento mostraram que as argamassas analisadas resultaram em diferentes propriedades reológicas e nenhuma das argamassas estudadas apresentou desempenho mecânico superior à argamassa referência.

Mohajerani et al. (2017) realizaram um estado da arte sobre a utilização de resíduos de vidro como agregado na construção civil. Foi possível observar que diversos pesquisadores têm se preocupado com as questões ambientais relativas ao descarte dos resíduos de vidro em aterros sanitários. Os pesquisadores têm encontrado resultados promissores sobre a utilização do vidro como agregado em argamassa, concreto e asfalto.

O objetivo desta pesquisa é avaliar a utilização de resíduos de vidro domiciliar em substituição à areia como agregado miúdo nos teores de 25%, 50%, 75% e 100% no concreto. Para isso, foram avaliados a distribuição granulométrica, o desempenho mecânico e a consistência dos concretos produzidos com esses teores de substituição.

## **REVISÃO TEÓRICA**

### **Materiais**

Foram necessários os seguintes materiais para a realização da pesquisa: Cimento Portland CP II-Z 32; Areia natural; Resíduos de vidro (garrafas, frascos); Brita zero; Água. Além disso, foram necessários os seguintes equipamentos: Peneiras com abertura 4,75 mm, 2,38 mm, 1,18 mm, 600 µm, 300 µm, 150 µm; Agitador mecânico para peneiras; Corpos de prova 100 x 200 mm; Molde metálico em formato de tronco de cone com altura de 30 cm x 10 cm de diâmetro superior x 20 cm de diâmetro inferior;

Complemento em formato de tronco de cone para auxiliar no enchimento; Placa metálica de base 500 mm x 500 mm x 3 mm; Haste metálica de socamento com extremidade semiesférica com diâmetro de 16 mm; Trena metálica graduada; Concha metálica; Colher de pedreiro; Prensa.

## **METODOLOGIA**

A metodologia utilizada consistiu inicialmente em realizar um levantamento bibliográfico sobre a utilização do vidro como substituinte à areia como agregado miúdo nos materiais cimentícios. Depois, foram definidos os teores de 25%, 50%, 75% e 100% de substituição para uma avaliação geral da consistência e do desempenho mecânico no concreto. Foram coletadas garrafas de vidro de refrigerante, cervejas, azeite de oliva, frascos de perfumes, copos e xícaras. Os materiais coletados são de origem domiciliar com colorações e espessura variadas. Não foi utilizado critério para separar o vidro para se obter um material em condições reais de reaproveitamento para a indústria da construção civil.

Em seguida, foi realizada a moagem deste material manualmente com um sistema improvisado utilizando pilão de concreto de aproximadamente 6 kg, com haste de cano PVC com 1,40 metros de altura. O vidro foi sendo triturado, realizando o processo de moagem e peneiramento na peneira 4,75 mm, que divide a faixa granulométrica entre agregado miúdo e graúdo. Foram moídos 22,40 Kg de vidro em aproximadamente 4:30 horas. Durante o processo manual de moagem, foi realizada a coleta manual de objetos contaminantes indesejáveis. Durante o processo de moagem, pequenas porções de água foram acrescentadas para reduzir a poeira gerada na moagem.

Após a conclusão da moagem, o vidro foi submerso em água com detergente para retirar impurezas. O vidro foi agitado manualmente para favorecer a reação do detergente durante o processo de submersão. A renovação da água foi realizada três vezes, até que não se observou a formação de bolhas de sabão ao se agitar manualmente a mistura. Depois, o vidro foi escoado e posto para secar ao ar livre, sob ação direta do sol, como mostra a Figura 1. Depois da secagem ao sol, o vidro foi colocado em estufa à temperatura de 105°C por 24 horas, finda esse procedimento, as amostras foram retiradas da estufa e esfriadas à temperatura ambiente e foi utilizado o método do quarteamento para a homogeneização do material.

Para realizar a análise granulométrica, foram utilizadas as peneiras com abertura 4,75 mm, 2,38 mm, 1,18 mm, 600 µm, 300 µm, 150 µm e o fundo, formando um conjunto de peneiras dispostas em ordem crescente começando pelo fundo até a peneira de maior dimensão que ficou no topo do conjunto. Com o material disposto na peneira de maior dimensão, executou-se o peneiramento no agitador mecânico por 10 minutos. Após o peneiramento, o material retido em cada peneira foi pesado. Com os resultados obtidos, fez-se uma análise dos limites da distribuição granulométrica.

Depois, com a caracterização de todos os materiais, foi feita a dosagem do concreto pelo método da Associação Brasileira de Cimento Portland-ABCP. Foram analisados cinco traços: referência (sem substituição), com 25% de substituição da areia pelo vidro, 50% de substituição da areia pelo vidro, 75% de substituição da areia pelo vidro e 100% de substituição da areia pelo vidro. Foi realizado o ensaio de

abatimento de tronco de cone para verificar a consistência dos concretos e depois foram moldados 5 corpos de prova 100 x 200 mm para cada traço analisado. A quantidade total de materiais para cada traço pode ser observada na Tabela 1.



Figura 1 – Secagem do vidro sob ação direta do sol.

Tabela 1: Quantidade dos materiais utilizados em cada traço.

Composição do agregado miúdo	nº de corpos de prova	Massa de cimento (Kg)	Massa de agregado miúdo (Kg)	Massa de areia (Kg)	Massa de vidro (Kg)	Massa de brita (Kg)	Massa de água (Kg)
100% areia	5	2,91	5,69	5,69	-	8,64	1,57
75% areia + 25% vidro	5	2,91	5,61	4,21	1,40	8,64	1,57
50% areia + 50% vidro	5	2,91	6,17	3,09	3,09	7,97	1,57
25% areia + 75% vidro	5	2,91	6,93	1,73	5,2	7,07	1,57
100% vidro	5	2,91	7,24	-	7,24	6,62	1,57

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de caracterização granulométria do agregado miúdo da amostra com 100% de areia em sua composição podem ser observados na Tabela 2. O módulo de finura da amostra referência, utilizando 100% de areia, foi 2,39 e o diâmetro máximo obtido do agregado miúdo foi de 2,38. A caracterização do agregado miúdo utilizado com 25% de substituição pode ser observada na Tabela 3. O módulo de finura da amostra utilizando 75% de areia e 25% de vidro foi 2,37 e o diâmetro máximo obtido do agregado miúdo foi de 2,38. A Tabela 4 mostra as características do agregado miúdo utilizando 50% de substituição da areia pelo vidro.

Tabela 2: Características granulométricas do agregado miúdo da amostra referência.

Amostra referência: 100% areia					
Peneira nº	Abertura (mm)	Peso Retido (g)	Porcentagem Retida (%)	Porcentagem Acumulada (%)	Porcentagem Passante (%)
4	4,75	0,00	0,00	0,00	100,00
8	2,38	6,76	2,26	2,26	97,74
16	1,18	36,14	12,09	14,35	85,65
30	0,60	70,63	23,63	37,98	62,02
50	0,30	147,23	49,25	87,23	12,77
100	0,15	29,32	9,81	97,04	2,96
Fundo	-	8,85	2,96	-	0,00

TOTAL	298,93	100,00	-	-
Peso inicial do material (g)				300,01
Módulo de finura				2,39
Diâmetro máximo				2,38

**Tabela 3:** Características granulométricas do agregado miúdo da amostra com 25% de substituição.

Amostra 75% areia + 25% vidro					
Peneira nº	Abertura (mm)	Peso Retido (g)	Porcentagem Retida (%)	Porcentagem Acumulada (%)	Porcentagem Passante (%)
4	4,75	0,00	0,00	0,00	100,00
8	2,38	23,80	8,00	8,00	92,00
16	1,18	36,70	12,34	20,34	79,66
30	0,60	47,10	15,83	36,17	71,83
50	0,30	132,00	44,37	80,54	19,46
100	0,15	34,80	11,70	92,24	7,76
Fundo	-	23,10	7,76	-	0,00
TOTAL		297,50	100,00	-	-
Peso inicial do material (g)				301,40	
Módulo de finura				2,37	
Diâmetro máximo				2,38	

**Tabela 4:** Características granulométricas do agregado miúdo da amostra com 50% de substituição.

Amostra 50% areia + 50% vidro					
Peneira nº	Abertura (mm)	Peso Retido (g)	Porcentagem Retida (%)	Porcentagem Acumulada (%)	Porcentagem Passante (%)
4	4,75	0,00	0,00	0,00	100,00
8	2,38	42,70	14,36	14,36	85,64
16	1,18	44,70	15,04	29,40	70,60
30	0,60	47,50	15,98	45,38	68,99
50	0,30	102,10	34,34	79,72	20,28
100	0,15	32,60	10,97	90,68	9,32
Fundo	-	27,70	9,32	-	0,00
TOTAL		297,30	100,00	-	-
Peso inicial do material (g)				300,10	
Módulo de finura				2,60	
Diâmetro máximo				2,38	

O módulo de finura da amostra utilizando 50% de areia e 50% de vidro foi 2,60 e o diâmetro máximo obtido do agregado miúdo foi de 2,38. A Tabela 5 mostra a caracterização do agregado miúdo utilizado com 75% de substituição. O módulo de finura da amostra com 25% de areia e 75% de vidro foi 2,77 e o diâmetro máximo obtido do agregado miúdo foi de 2,38. As características granulométricas do agregado miúdo utilizado nesse traço podem ser observadas na Tabela 6. O módulo de finura da amostra com 100% de vidro foi 3,41 e o diâmetro máximo obtido do agregado miúdo foi de 2,38, assim foi possível observar que quanto maior o teor de substituição da areia natural pelo vidro, maior foi o módulo de finura do agregado miúdo. Com relação às propriedades do concreto no estado fresco, os resultados de consistência podem ser observados na Tabela 7.

**Tabela 5:** Características granulométricas do agregado miúdo da amostra com 75% de substituição.

Amostra 25% areia + 75% vidro					
Peneira nº	Abertura (mm)	Peso Retido (g)	Porcentagem Retida (%)	Porcentagem Acumulada (%)	Porcentagem Passante (%)
4	4,75	0,00	0,00	0,00	100,00
8	2,38	60,30	20,26	20,26	79,74
16	1,18	51,60	17,33	37,59	62,41
30	0,60	44,30	14,88	52,47	67,79
50	0,30	75,80	25,46	77,93	22,07
100	0,15	31,30	10,51	88,44	11,56

Fundo	-	34,40	11,56	-	0,00
TOTAL		297,70	100,00	-	-
Peso inicial do material (g)					300,50
Módulo de finura					2,77
Diâmetro máximo					2,38

**Tabela 6:** Características granulométricas do agregado miúdo da amostra com 100% de substituição.

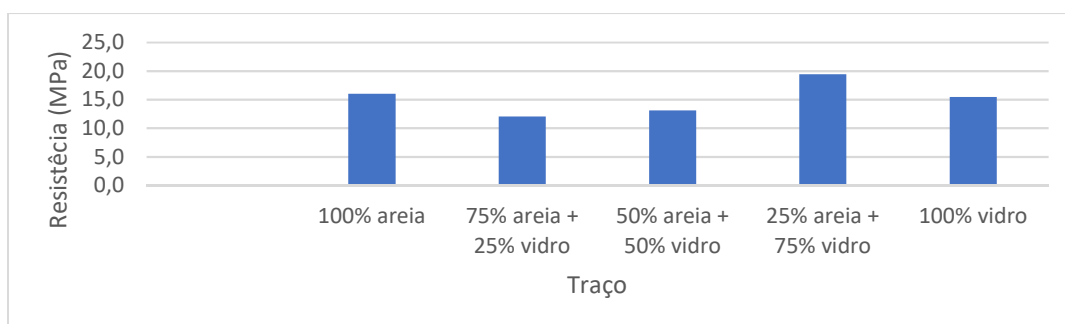
Amostra 100% vidro					
Peneira n <sup>o</sup>	Abertura (mm)	Peso Retido (g)	Porcentagem Retida (%)	Porcentagem Acumulada (%)	Porcentagem Passante (%)
4	4,75	0,00	0,00	0,00	100,00
8	2,38	106,00	34,96	34,96	65,04
16	1,18	67,70	22,33	57,29	42,71
30	0,60	43,10	14,22	71,50	28,50
50	0,30	40,80	13,46	84,96	15,04
100	0,15	20,80	6,86	91,82	8,18
Fundo	-	24,8	8,18	-	0,00
TOTAL		303,20	100,00	-	-
Peso inicial do material (g)					303,30
Módulo de finura					3,41
Diâmetro máximo					2,38

**Tabela 7:** Resultado do abatimento do tronco de cone.

Composição do agregado miúdo	Abatimento (mm)
100% areia	63
75% areia + 25% vidro	140
50% areia + 50% vidro	79
25% areia + 75% vidro	21
100% vidro	10

Através da Tabela 7, foi possível observar que o proporcionamento do agregado graúdo e do agregado miúdo presente na Tabela 1 influenciou diretamente na consistência dos concretos analisados. Além disso, o módulo de finura do agregado miúdo influenciou na consistência dos concretos, sendo que o módulo de finura de 2,37 foi o que apresentou o melhor desempenho de fluidez.

O concreto referência apresentou abatimento de 63 mm e o concreto com 50% de substituição apresentou abatimento 79 mm, ou seja, consistências semelhantes e que podem ser aplicadas na construção civil. Os concretos com 75% e 100% de substituição apresentaram abatimentos muito baixos, sendo necessário o uso de aditivos superplastificantes para tornarem-se aptos a utilização. O concreto com 25% de substituição foi o que apresentou melhor desempenho quanto à consistência, podendo ser utilizado em concretos com elevadas taxas de armadura com eficiência. Os resultados de resistência à compressão aos 28 dias podem ser observados na Figura 2.



**Figura 2:** Resistência à compressão aos 28 dias.

Através dos resultados de resistência à compressão, foi possível observar que o concreto com 25% de areia e 75% de vidro como agregado miúdo foi o que apresentou o melhor desempenho mecânico. Ele apresentou ganho de resistência de 21,42% em relação ao concreto referência. Mais uma vez, isso mostra que o proporcionamento dos agregados e que o módulo de finura do agregado miúdo influenciaram nas propriedades do concreto, mostrando que o teor ótimo de substituição para o proporcionamento utilizado foi de 75%.

O concreto com 100% de vidro como agregado miúdo apresentou desempenho semelhante ao concreto referência, pois ele apresentou redução no desempenho mecânico de apenas 3,58%, mostrando ser uma boa opção de substituição. Os concretos com 25% e 75% de substituição apresentaram referência inferior ao concreto referência, apresentando redução de 24,92% e 18,31%, respectivamente, de resistência à compressão em relação ao concreto referência.

**CONCLUSÕES**

Com base nos resultados, a utilização de vidro como adição em concretos se mostra uma excelente solução para o grande problema que esse resíduo representa nos centros urbanos, além de ser uma alternativa que demanda menor energia que a tradicional forma de reciclagem do vidro. Foi possível observar que para um mesmo consumo de cimento Portland com mesma relação a/c e diferente proporcionamento dos agregados com diferentes módulos de finura do agregado miúdo, houve diferença nas propriedades do concreto no estado fresco e no estado endurecido.

Os concretos com 75% e 100% de substituição da areia natural pelo vidro se mostraram muito consistentes, sendo necessária a utilização de aditivo superplastificante para a sua utilização em concretos com elevadas taxas de armadura. O concreto com 50% apresentou consistência semelhante ao concreto referência e o concreto com 25% de substituição e módulo de finura de 2,37 apresentou bastante fluidez.

Com relação à resistência à compressão, o concreto com 75% de substituição e módulo de finura 2,77 foi o que apresentou o melhor desempenho mecânico. Apesar de não apresentar tanta fluidez, a sua utilização se torna possível com a utilização de aditivo superplastificante. Os concretos com 25% e 50% de substituição apresentaram um desempenho inferior, porém apresentaram boa fluidez, então dependendo do elemento a ser concretado eles se tornam boas alternativas se não for requisitada uma grande carga. O concreto com 100% de substituição também se mostrou uma boa alternativa, desde que utilizado aditivo superplastificante para aumentar a sua fluidez, pois ele apresentou resistência à compressão semelhante ao concreto referência.

**REFERÊNCIAS**

AZEVEDO, A. R. G.; ALEXANDRE, J.; ZANELATO, E. B.; MARVILA, M. T.. Influence of incorporation of glass waste on the rheological properties of adhesive mortar. **Construction and Building Materials**, v.148, p.359-368, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.208>

MOHAJERANI, A.; VAJNA, J.; CHEUNG, T. H. H.; KURMUS, H.; ARULRAJAH, A.; HORPIBULSUK, S.. Practical recycling applications of crushed waste glass in construction materials: a review. **Construction and Building Materials**, v.156, p.443-467, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.005>



PENACHO, P.; BRITO, J.; VEIGA, M. R.. Physico-mechanical and performance characterization of mortars incorporatin fine glass waste aggregate. **Cement & Concrete Composites**, v.50, p. 47-59, 2014. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.02.007>

RASHAD, A. M.. Recycled waste glass as fine aggregate replacement in cementitious materials based on Portland cement. **Construction and Building Materials**, v.72, p.340-357, 2014. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.08.092>

TOPÇU, I. B.; BOGA, A. R.; BILIR, T.. Alkali silica reactions of mortars produced by using waste glass as fine aggregate and admixtures such as fly ash and Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. **Waste Management**, v.28, p.878-884, 2008.

YU, X.; TAO, Z.; SONG, T. Y.; PAN, Z.. Performance of concrete made with steel slag and waste glass. **Construction and Building Materials**, v.114, p.737-746, 2016. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.217>

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenere Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.