

## ESTUDO DE COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS SUBSTITUINDO AGREGADO GRAÚDO POR VIDRO

Fernando Rangel (IC)<sup>1</sup>, Valquíria C. dos Santos (PQ)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Itajubá

**Palavras-chave:** Brita. Concreto. Reaproveitamento. Substituição. Vidro.

### Introdução

Segundo Marques (2006), o concreto é um dos materiais mais usados nas obras de engenharia e se encontra em constante estudo. Sua grande aplicação se deve à sua durabilidade, facilidade de assumir formas diferentes e versatilidade, sendo, por isso, utilizado de diversas formas, seja em peças estruturais ou não estruturais. A possibilidade de incorporação de resíduos em misturas à base de cimento é uma contribuição da construção civil para reciclagem de resíduos prejudiciais ao meio-ambiente, podendo também melhorar o desempenho dos materiais com sua adição.

De acordo com Pinto (1999), a indústria da construção civil consome cerca de 75% dos recursos naturais produzidos em todo o planeta. Dentre os produtos destas atividades mineradoras, os mais utilizados nas obras de construção civil são o cimento e os agregados. Os agregados graúdos possuem uma maior importância para proporcionar boa qualidade ao concreto, e um dos mais utilizados é a brita nº1. Diante do crescente aumento da demanda por brita nº1, os recursos naturais estão ficando cada vez mais escassos. Essa escassez tem se refletido no custo desses agregados e, por consequência, no custo do metro cúbico do concreto, seja ele usinado ou fabricado na obra.

Diante disso, torna-se de suma importância a obtenção de um material renovável, de baixo custo e com boa qualidade. Um material que possa ser um substituto viável economicamente, ecologicamente e que não seja prejudicial às características do concreto.

Zegardlo e seus colaboradores, (2018), apresentaram uma análise da possibilidade de aproveitamento de resíduos de vidro de materiais de iluminação como um agregado para um concreto polimérico. Resíduos de vidro foram obtidos da empresa que utilizava elementos de iluminação em vidro, que foi então submetida à trituração. O agregado obtido foi submetido aos testes de características básicas, as quais foram comparadas com agregados que são tradicionalmente aplicados a concretos. A próxima etapa do programa de pesquisa foi a produção de um concreto

polimérico que continha agregado de vidro. Vários tipos de misturas foram preparados nas quais os resíduos de vidro foram combinados em várias proporções com o agregado tradicional de areia e cascalho. Na pesquisa foram determinadas as características físicas e mecânicas básicas dos concretos poliméricos. A microestrutura dos compósitos também foi analisada em um microscópio eletrônico de varredura. Os resultados da pesquisa mostraram que o agregado obtido a partir de resíduos de vidro pode ser usado com sucesso para a produção de um concreto polimérico. As propriedades físico-mecânicas mais benéficas foram obtidas para um compósito em que os resíduos de vidro foram usados como um substituto de 50% para o agregado tradicional.

O objetivo principal do presente trabalho é buscar alternativas para substituição de agregados no concreto. Sendo este estudo focado principalmente na substituição da brita por vidro. Esta pesquisa busca encontrar meios novas maneiras de se executar traços de concreto, substituindo a brita, que é um material-não-renovável, pelo vidro, o qual se pode reciclar e se encontra com muita facilidade em nosso meio. Têm-se como justificativa a importância da preservação dos recursos não-renováveis, visto que estão ficando cada vez mais escassos, além de que a extração da brita causa inúmeras degradações para o ambiente e também a elaboração de novos estudos para o avanço da ciência e tecnologia.

### Metodologia

Para a realização desta pesquisa foram realizados 5 traços de concreto, cada qual com uma característica diferente. Para realizar a dosagem dos traços foi utilizado o método da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), este método foi adaptado do método da ACI (American Concrete Institute), porém foi desenvolvido para agregados brasileiros.

Têm-se agora uma breve caracterização dos componentes:

- Cimento: CP II E-32; Massa específica: 3110

kg/m<sup>3</sup>; Resistência do cimento aos 28 dias.

- Agregado Miúdo: Módulo de finura: 2,63; Massa específica agregado miúdo: 2570 kg/m<sup>3</sup>.
- Agregado Graúdo 0 (Brita 0): Dimensão máxima: 9,5mm; Massa específica: 2700 kg/m<sup>3</sup>; Massa unitária compactada: 1500 kg/m<sup>3</sup>.
- Agregado Graúdo 1 (Brita 1): Dimensão máxima: 19mm; Massa específica: 2700 kg/m<sup>3</sup>; Massa unitária compactada: 1700 kg/m<sup>3</sup>.
- O vidro triturado foi adquirido na empresa RANERI situada no município de Varginha-MG na qual realiza serviço de trituração de resíduos de vidro dos tipos laminado, temperado, espelho e pára brisa de carros e revende para empresas de piso cerâmico, jateamento etc. Para chegar no estado final, os resíduos de vidro passam pelo processo de trituração, conforme mostra a Figura 1. Na qual se inicia com o picotador, onde é colocado os resíduos de vidro que chegam na empresa. Em seguida passam pelo triturador e através de uma esteira vão para o moinho na qual possui três peneiras, separando o vidro em três granulometrias diferentes. Nos traços será utilizado o resíduo de vidro triturado da peneira com a maior granulometria, como está sendo mostrado na Figura 2.

**Figura 1** - Processo de Trituração de Resíduo de Vidro na empresa RANERI



Fonte: TORRES, R.G. (2022)

**Figura 2** - Resíduo de vidro triturado no estado mais grosso



Fonte: Próprio autor

de provas cilíndricos de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, que ficaram da seguinte forma:

**T1 – Considerando o inchamento de 30% da areia:** 4,36 kg de cimento, 7,42 kg de areia, 3,2 kg de brita 0, 7,45 kg de brita 1 e 2,06 + 0,6 = 2,66 l de água.

**T1 – Desconsiderando o inchamento de 30% da areia:** 4,36 kg de cimento, 7,42 kg de areia, 3,2 kg de brita 0, 7,45 kg de brita 1 e 2,06 = 2,06 l de água.

**T100-0 substituição total da brita 0 por vidro:** 4,36 kg de cimento, 7,42 kg de areia, 3,2 kg de vidro, 7,45 kg de brita 1 e 2,06 + 0,6 = 2,66 l de água.

**T50-0 substituição de 50% da brita 0 por vidro:** 4,36 kg de cimento, 7,42 kg de areia, 1,6 kg de brita 0, 7,45 kg de brita 1, 1,2 kg de vidro e 2,06 + 0,6 = 2,66 l de água.

**T50-50 substituição parcial de 50% de ambas as britas:** 4,36 kg de cimento, 7,42 kg de areia, 1,6 kg de brita 0, 3,725 kg de brita 1, 5,325 kg de vidro e 2,06 + 0,6 = 2,66 l de água.

O traço base foi o T1 – Considerando o inchamento de 30% da areia, a partir dele foram feitas substituições na quantidade de brita dos outros traços. Também foi feito um traço onde não se levou em conta o fator de inchamento da areia, para mostrarmos a diferença entre eles. A quantidade de concreto foi feita adicionando 10% a mais de cada componente para possíveis perdas.

Assim que se realizava cada traço, era feito o slump teste, que tem como objetivo determinar a consistência do concreto fresco através da medida de seu assentamento, em laboratório e obra (NBR NM 67), os resultados serão apresentados a seguir na Tabela 1.

Após a realização do slump teste os corpos de provas foram moldados, e após 24 horas, conforme a NBR 5738 foram desmoldados e identificados. Logo após foram armazenados em uma câmara, localizada no IRN (Instituto de Recursos Naturais), em uma solução saturada de hidróxido de cálcio a (23 ± 2) °C.

Após 28 dias na solução, os corpos de prova foram retirados e armazenados para a realização do teste de resistência à compressão. Após a secagem dos CP's foi realizado o ensaio de resistência à compressão, conforme NBR 5739, os resultados estão apresentados na Tabelas 2.

## Resultados e discussão

Apresentam-se agora os resultados do slump teste na Tabela 1

**Tabela 1** - Resultados do Slump Teste (em mm):

Traço:	Resultado do Slump Teste (mm):
--------	--------------------------------

A partir dos dados acima foram feitos cálculos para a obtenção dos traços, para preencherem 6 corpos

T1 – Considerando o inchamento de 30% da areia	18
T1 – Desconsiderando o inchamento de 30% da areia	1,0
T100-0 substituição total da brita 0 por vidro	1,5
T50-0 substituição de 50% da brita 0 por vidro	2,0
T50-50 substituição parcial de 50% de ambas as britas	9,0

Fonte: Próprio Autor

Pode-se observar que o traço em que não foi considerado o fator de inchamento da areia, foi onde se obteve o menor resultado do slump teste, isso se deve ao fato de que por ele não possuir a quantidade de água necessária para o traço, ele ficou bastante duro e com pouca trabalhabilidade. Observa-se também que onde houve a substituição da brita por vidro o slump teste foi relativamente baixo, isso se deve ao fato que o vidro absorve mais água do que a brita.

Expõem-se agora os resultados obtidos dos ensaios de resistência à compressão.

**Tabela 2 - Tensão máxima (MPa) de todos os traços**

T1 – Considerando o inchamento de 30% da areia	
CP	$\sigma$ máx (MPa)
1	16,43
2	18,55
3	16,73
4	18,38
5	16,45
6	22,58
Média:	18,19
Desvio padrão:	2,35
T1 – Desconsiderando o inchamento de 30% da areia	
CP	$\sigma$ máx (MPa)
1	3,76
2	14,85
3	30,56
4	28,85
5	32,47
6	10,45
Média:	20,16
Desvio padrão:	12,06
T100-0 substituição total da brita 0 por vidro	
CP	$\sigma$ máx (MPa)

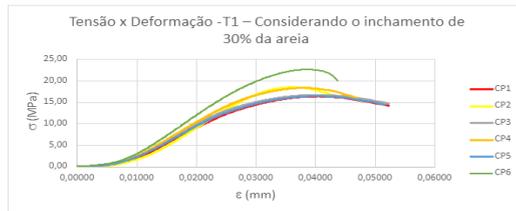
1	14,25
2	16,91
3	10,61
4	10,86
5	15,27
6	10,49
Média:	13,07
Desvio padrão:	2,78
T50-0 substituição de 50% da brita 0 por vidro	
CP	$\sigma$ máx (MPa)
1	16,00
2	21,86
3	26,44
4	22,71
5	18,96
6	23,73
Média:	21,62
Desvio padrão:	3,68
T50-50 substituição parcial de 50% de ambas as britas	
CP	$\sigma$ máx (MPa)
1	20,00
2	18,44
3	18,26
4	20,14
5	20,58
6	19,92
Média:	19,56
Desvio padrão:	0,96

Fonte: Próprio Autor

Percebe-se que o valor de tensão máxima do CP1 do Traço T1 – Desconsiderando o inchamento, ficou extremamente baixo, isso ocorreu porque ele não havia concreto suficiente para enchê-lo, devido à baixa trabalhabilidade do traço, o que ocasionou em uma tensão máxima baixa. O mesmo é visto a seguir na Figura 4.

A partir dos resultados apresentados acima foi possível realizar os gráficos de Tensão x Deformação, que permite observarmos qual foi o melhor traço e também suas características. Os gráficos estão apresentados abaixo nas Figuras 3, 4, 5, 6 e 7.

**Figura 3 - Gráfico Tensão x Deformação - T1 – Considerando o inchamento de 30% da areia**



Fonte: Próprio Autor

Figura 4 - Gráfico Tensão x Deformação - T1 – Desconsiderando o inchamento de 30% da areia



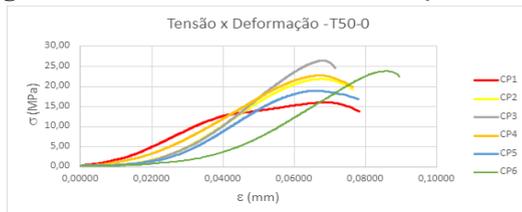
Fonte: Próprio Autor

Figura 5 - Gráfico Tensão x Deformação - T100-0



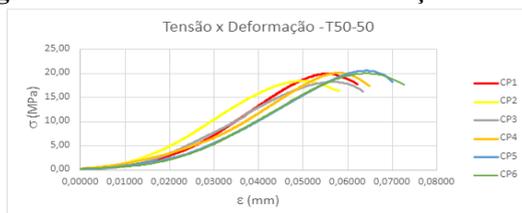
Fonte: Próprio Autor

Figura 6 - Gráfico Tensão x Deformação - T50-0



Fonte: Próprio Autor

Figura 7 - Gráfico Tensão x Deformação - T50-50



Fonte: Próprio Autor

## Conclusões

A partir dos resultados obtidos pode-se perceber que é possível realizar a substituição da brita por vidro, pois no ensaio de resistência à compressão os valores encontrados foram bons, ressalta-se que no Traço T50-0

e no Traço T50-50 o valor obtido da tensão máxima foi maior que no traço feito com base, no caso o Traço T1 – Considerando o inchamento de 30% da areia, o que mostra que a resistência dos traços feitos com substituição, são boas.

Também é possível destacar que nos traços onde houve substituição, o desvio padrão não foi tão alto, o que mostra que os corpos de prova ficaram similares e uniformes, o que é bom para a consolidação dos resultados.

Pode-se concluir também que é imprescindível levar em consideração a absorção de 30% da areia, visto que no traço onde ela não é considerada, o resultado do slump teste, ficou muito aquém do ideal. No ensaio de compressão a média foi um valor relativamente bom, porém deve-se levar em consideração que o desvio padrão ficou muito alto, algo que mostra que os resultados não são tão precisos. Além de não ter tido concreto suficiente para encher os 6 corpos de prova.

É possível considerar o traço T50-50 como o que melhor atendeu os requisitos, pois seu slump teste teve um resultado excelente, e no ensaio de resistência à compressão, foi o que apresentou o menor desvio padrão, teve uma tensão máxima alta, comparado aos outros traços, e por ser possível fazer a substituição de 50% da brita 0 e 50% da brita 1, se mostrou eficaz para o nosso objetivo de preservar os recursos-não-renováveis.

## Agradecimento

Agradeço a Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI por mais uma oportunidade e pelo financiamento da bolsa PIBIC

## Referências

- MARQUES, A. C. et.al. Resistência Mecânica do Concreto Adicionado de Borracha de Pneu Submetido à Elevada Temperatura. In: Jornadas Sul-americanas de Engenharia Estrutural. 23., 2006, Campinas. Anais... Campinas, 2006.
- PINTO, T. P. Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana. 1999. 218f. – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 1999.
- TORRES, R.G. (2022), Estudo da corrosão no compósito cimentício autoadensável com substituição do agregado miúdo por resíduo de vidro. 2021. 95p. Dissertação (Mestrado em Materiais Para Engenharia). Universidade Federal de Itajubá, Itajubá – MG, 2021.
- Zegardlo, Bartosz, et ai. “Propriedades Físico-Mecânicas e Microestrutura do Concreto Polímero com Agregado de Vidro Reciclado”. *Materiais*, v. 11, não. 7, 14 de julho de 2018, pág. 1213, 10.3390/ma11071213.