

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO MECÂNICO E DURABILIDADE DE CONCRETOS COM USO DE RCC NA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DOS AGREGADOS GRAÚDO E MIÚDO

EVALUATION OF MECHANICAL PERFORMANCE AND DURABILITY OF CONCRETE WITH USE OF RCC IN THE PARTIAL REPLACEMENT OF AGGREGATES GRADE AND KID

Felipe Dalla Nora Soares, graduando em Engenharia Civil, UNIJUÍ

felipe-dallanora@hotmail.com

Gabriela da Silva da Costa, graduanda em Engenharia Civil, UNIJUÍ

gah.bressam@gmail.com

Thainá Yasmin Dessuy, graduanda em Engenharia Civil, UNIJUÍ

thaiydessuy@hotmail.com

Lucas Fernando Krug, Mestre, UNIJUÍ

lucas.krug@unijui.edu.br

Resumo

A construção civil é a indústria que mais consome recursos naturais no planeta e, também, a que mais polui. Para tanto, buscam-se soluções sustentáveis à destinação destes resíduos da construção civil, como o reaproveitamento no próprio setor. Portanto, objetiva-se analisar o comportamento de concretos produzidos com resíduos da construção civil (RCC). Assim sendo, foram produzidas amostras onde substituiu-se o agregado graúdo e o miúdo pelos resíduos da construção civil nos percentuais de 10% e 20%, além de amostra referência, e avaliou-se o comportamento dos mesmos através de ensaios de desempenho mecânico e durabilidade. Quanto aos resultados, destacam-se todos os traços com substituição de resíduos, que apresentaram melhores comportamentos quanto ao desempenho mecânico quanto a durabilidade.

Palavras-chave: sustentabilidade; construção civil; reutilização de resíduo

Abstract

The building construction is an industry that consumes the most natural resources from the planet, also it is that the most pollutes. In order to do so, sustainable solutions are sought for the disposal of these construction wastes, as well as reuse in the sector itself. Therefore, it aims analyze the possibility of CDW to make concretes. Therefore, it replaced in concrete the large and small aggregates with wastes from of crushing of concretes recycle materials in percentages of 10% and

20%, besides the reference sample and evaluated the performance of the same by mechanical and durability performance tests yet. With the objective to compare, it was molded a reference mark with conventional materials too. In terms of the results, stands out all traces with residue substitution, which presented better performance in terms of mechanical performance and durability.

Keywords: sustainability; construction; reuse of waste.

1. Introdução

Ao longo dos anos, a indústria da construção civil vem aprimorando suas técnicas construtivas, acompanhando o avanço tecnológico que impulsiona todas as áreas no mundo. Entretanto, essa mesma indústria que se desenvolve, é cercada por problemas tão grandes quanto seu crescimento. No Brasil, a deposição dos resíduos sólidos gerados pelo setor da construção civil, em áreas urbanas, raramente segue um critério definido em condições técnicas apropriadas. Portanto, sua utilização como matéria prima pode reduzir a exploração de recursos naturais e colaborar na destinação adequada, prolongando assim a vida útil das reservas e reduzindo a destruição da paisagem, flora e fauna, sendo esta contribuição significativa, inclusive onde os recursos são abundantes (JOHN, 2000).

Os resíduos provenientes da construção civil apresentam características que dependem de fatores como tipo de obra, da fase em que se encontra a construção, das técnicas construtivas, entre outros. Pinto (1999) estima que essa mistura seja composta, basicamente, de 60% argamassa, 30% componentes de vedação – tijolos, blocos, cacos cerâmicos, 9% outros materiais (concreto, pedra, areia, metálicos e plásticos) e 1% orgânicos. Contudo, cada caçamba de materiais, apresentam características totalmente diferentes, requerendo assim grande controle de qualidade.

Assim, a qualidade de concretos produzidos com o RCC depende diretamente da predominância dos tipos de materiais constituintes desse resíduo. Como é o caso da absorção e a porosidade, fatores determinantes de avaliação dos RCC, já que quanto menor forem estes índices, melhor será seu emprego. Materiais constituídos predominantemente de resíduos cerâmicos são muito mais porosos quando comparados aos resíduos provenientes de concreto, salientando ainda que os de concreto, são ainda mais porosos que os materiais convencionais. Outro fator importante é o teor de finos, que influencia na qualidade, podendo trazer resultados maléficis e também benéficos, o que irá depender de sua reatividade. Parte destes finos podem apresentar grãos de cimento que não foram hidratados, bem como materiais pozolânicos, o que poderia aumentar a resistência e durabilidade do concreto. Por outro lado, altos teores de finos também proporcionam uma maior quantidade de água na mistura (ÂNGULO e FIGUEIREDO, 2011).

A resistência mecânica dos concretos com substituição, de modo geral, tende a ser inferior a concretos convencionais, contudo, Leite (2001) atingiu diversos resultados superiores com o uso dos resíduos, principalmente com predominância de materiais cerâmicos, os quais continham materiais pozolânicos em sua composição, acarretando assim o ganho de resistência dos concretos. Além dos materiais constituintes, o tipo de britagem aplicada na produção desse influencia significativamente nos resultados, pois apresenta alterações do seu formato, interferindo assim no teor de vazios no concreto que

será produzido, bem como na escolha dos materiais e ainda a definição dos traços de substituição (CABRAL, 2007).

Quanto a sua porosidade e absorção de água, há obstáculos para utilização dos materiais reciclados. Agregados reciclados de concreto possuem menor porosidade e com processos avançados podem chegar a valores de absorção próximos aos materiais convencionais. Contudo, os agregados com predominância de materiais cerâmicos apresentam maior porosidade, entretanto, novas tecnologias podem proporcionar um maior acabamento a estes, permitindo assim baixa absorção e porosidade, tornando suas características muito próximas dos materiais convencionais (ÂNGULO e FIGUEIREDO, 2011).

A durabilidade do concreto é um assunto essencial, pois permite a compreensão do desempenho do concreto em toda a vida útil da estrutura. A redução da durabilidade do concreto pode ser provocada por agentes externos decorrentes do ambiente, como o dióxido de carbono, o qual reduz o pH do concreto, rompendo a película que envolve o aço, permitindo assim o processo de corrosão das armaduras. A corrosão da armadura é o fenômeno de degradação que merece mais atenção, já que é um dos mais importantes e difíceis de intervir, gerando manifestações patológicas que afetam estruturas de concreto armado (NEVILLE e BROOKS, 2010).

Dessa forma, foi objeto de pesquisa deste trabalho desenvolver um estudo relacionado ao desempenho mecânico do concreto desenvolvido com substituição parcial pelo agregado reciclado, além da sua durabilidade, analisando o comportamento desses concretos quando submetidos a um ataque de um agente agressivo.

2. Materiais e Métodos

A metodologia empregada foi subdividida em: caracterização dos materiais, estudo de dosagem, moldagem dos corpos de prova, ensaios mecânicos e de durabilidade do concreto. A caracterização dos materiais foi realizada através da caracterização do aglomerante pelo ensaio do Frasco de Le Chatelier (NBR NM 23/2000), massa específica pelo ensaio do Frasco de Chapman (NBR 9776/1987), massa específica solta e compactada (NBR 7251/1982) e granulometria para o módulo de finura e diâmetro máximo (NBR 7217/1987).

Em seguida foram realizadas substituições dos agregados convencionais pelos agregados reciclados, tanto do agregado graúdo quanto do agregado miúdo, nos percentuais de 10% e 20%, sendo estas substituições realizadas separadamente para cada agregado, totalizando 5 traços diferentes de concreto. Para fins de comparação, foi produzido o concreto referência, através da dosagem pelo método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP).

2.1 Materiais Utilizados

2.1.1 Aglomerante

O cimento utilizado foi o CP II-Z-32, cuja composição varia entre 76% a 94% de clínquer, 6% a 14% de material pozzolânico e 0% a 10% de material carbonático (NBR 11578/1991). O resultado obtido foi de 3,175 Kg/dm³.

2.1.2 Agregados Naturais

O agregado gráudo utilizado foi a Brita 0, fornecido pela Pedreira Tabille. Já o agregado miúdo é proveniente dos areais de Santa Maria – RS. Ambos materiais foram disponibilizado pelo Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUÍ). Os resultados de caracterização estão apresentados na tabela 1.

Agregado	Material	Diâmetro Máximo (mm)	Módulo de Finura	Massa Específica (Kg/dm ³)	Absorção (%)	Massa Unitária Solta (Kg/dm ³)	Material Pulverolento (%)
Graúdo	Brita	9,50	5,94	2,88	1,53	1,49	-
Miúdo	Areia	1,20	1,62	2,57	-	1,50	5,8

Tabela 1. Caracterização dos agregados naturais

2.1.3 Agregados Reciclados

O agregado gráudo e miúdo reciclado são provenientes da britagem de materiais misturados, fornecidos pela empresa recicladora de resíduos da construção civil Resicon do município de Santa Rosa – RS. Os resultados quanto aos agregados reciclados são apresentados na tabela 2.

Agregado	Material	Diâmetro Máximo (mm)	Módulo de Finura	Massa Específica (Kg/dm ³)	Absorção (%)	Massa Unitária Solta (Kg/dm ³)	Material Pulverolento (%)
Graúdo	Brita	13,00	5,79	2,03	11,03	1,10	-
Miúdo	Areia	4,80	2,44	2,41	-	1,26	7,84

Tabela 2. Caracterização dos agregados reciclados

Salienta-se que os materiais utilizados sofrem rigorosa separação assim que é recebido pela recicladora. Os resíduos destinados à empresa recicladora são oriundos de diversos setores da construção civil, portanto na maioria das vezes o material vem misturado, sendo que em alguns carregamentos há predominância de materiais cerâmicos e em outros de materiais de concreto. Desta forma, ressalta-se a importância da separação dos materiais no local onde são coletados, possibilitando maior controle e conseqüentemente maior qualidade do agregado.

2.1.4 Aditivo

O aditivo utilizado foi o plastificante BUILDERMIX MD 40 e foi fornecido pela empresa *Builder* Indústria e Comércio LTDA, de Cachoeirinha – RS. O aditivo possui como função dar mais plasticidade ao concreto com menor quantidade de água e foi utilizado para as

produções de concretos com substituição parcial de resíduos, tendo em vista o maior consumo de água destes materiais.

2.2 Dosagem das misturas

O cálculo de dosagens foi realizado para um concreto referência, utilizando os materiais convencionais, para que fosse obtida a resistência de 25 Mpa aos 28 dias com um abatimento de 120 mm \pm 10 mm. A relação a/c estabelecida foi de 0,500, contudo, na produção dos concretos foi atingido o abatimento de 120mm antes de ser utilizada toda água e esta relação foi ajustada para 0,44. A tabela 3 apresenta os traços utilizados, bem como suas respectivas quantidades de aditivo utilizadas.

	Cimento (Kg/m ³)	Areia (Kg/m ³)	Brita (Kg/m ³)	RCC (Kg/m ³)	Água (Kg/m ³)	Aditivo (%)	Slump test (cm)
Referência	458,820	670,370	1051,350	0,000	203,711	0,000	12,00
10% Graúdo	458,820	670,370	946,215	105,135	203,711	0,369	13,00
20% Graúdo	458,820	670,370	841,080	210,270	203,711	0,900	13,00
10% Miúdo	458,820	603,333	1051,350	67,037	203,711	0,239	11,50
20% Miúdo	458,820	536,296	1051,350	134,074	203,711	0,471	12,00

Tabela 3. Traços dos concretos referência, com substituição do agregado graúdo e miúdo

2.3 Ensaio Laboratoriais

2.3.1 Ensaio físicos no estado fresco

A fim de avaliar a trabalhabilidade do material, realizou-se ensaios no concreto em estado fresco, tais como *slump test* (NBR NM 67/1998) e massa específica (NBR 9833/2008). Destaca-se o *slump test*, que foi o comparativo utilizado entre cada traço de substituição com o referência, buscando em cada moldagem a altura de abatimento de 110mm \pm 10mm.

2.3.2 Ensaio físico no estado endurecido

Para a determinação da resistência apresentada por esses concretos em seu estado endurecido foram realizados ensaios de compressão (NBR 5739/2007), rompidos nas idades de 7, 28, 56 e 91 dias. Para esses ensaios foram destinados 10 corpos de prova, onde aos 7 e 28 dias utilizou-se três corpos de prova em cada ensaio, enquanto que para os 56 e 91 dias, foram rompidos dois corpos de prova para cada ensaio.

2.3.3 Ensaios de absorção por capilaridade

O ensaio de absorção por capilaridade (NBR 9779/1994) determina a porosidade do concreto através da ascensão capilar e também ajuda a avaliar a sua durabilidade. Foram ensaiados 3 corpos de prova de cada traço na idade de 28 dias, após serem estabilizados a temperatura de 100 °C, visando perder toda água livre presente.

2.3.4 Ensaios de Carbonatação Acelerada

O ensaio de carbonatação acelerada auxilia na determinação da durabilidade do concreto, através da avaliação da resistência a penetração de CO₂ nestes. Para tanto, os corpos de prova foram inseridos em uma câmara de carbonatação acelerada, com uma concentração de 90% de CO₂, simulando uma aceleração no tempo para a ação do gás. A verificação da profundidade de carbonatação foi executada com aplicação da solução em álcool de fenolftaleína (1%), logo após os corpos de provas serem retirados da câmara e rompidos por compressão diametral. Essa solução é aspergida sobre a parte interna da amostra. A área colorida indica que o pH mantém-se constante, na sua condição ideal, enquanto que a parte incolor indica que o pH está ácido, ou seja, houve a ação do gás carbônico. Nestes ensaios foram utilizados dois corpos de provas para o concreto referência e mais dois para cada traço de substituição, tanto para o agregado miúdo quanto para o gráudo, nas percentagens de 10% e 20%, totalizando assim 10 amostras.

2.3.5 Determinação do índice de material pozolânico

Devido a possibilidade do material reciclado possuir atividade pozolânica na sua composição, foi realizado o ensaio de determinação do índice de material pozolânico, prescrito pela NBR 5752/2014. O ensaio foi realizado utilizando 1% do aditivo plastificante para obtenção do mesmo espalhamento da amostra referência e a peneira usada para obtenção do material pozolânico foi a de nº 400, tendo em vista a não existência da peneira de nº 325 no laboratório.

3. Resultados e Discussões

3.1 Resistência a compressão de concretos com agregado miúdo reciclado

Ao analisar os resultados obtidos no ensaio e levando em consideração o desvio padrão para cada idade, percebe-se que os resultados de compressão aos 7, 28, 56 e 91 dias foram estatisticamente iguais, obtendo uma pequena variação que pode ser explicada pelo desvio padrão encontrado. Quanto aos resultados do ensaio do agregado reciclado miúdo, salienta-se um maior crescimento por parte dos concretos com substituição de resíduos a partir do 7º dia, em comparação com o referência. Este fato pode ser explicado pela reação pozolânica do material reciclado, onde quanto maior for o tempo de cura, maior será seu desempenho. Os resultados são apresentados no gráfico 1.

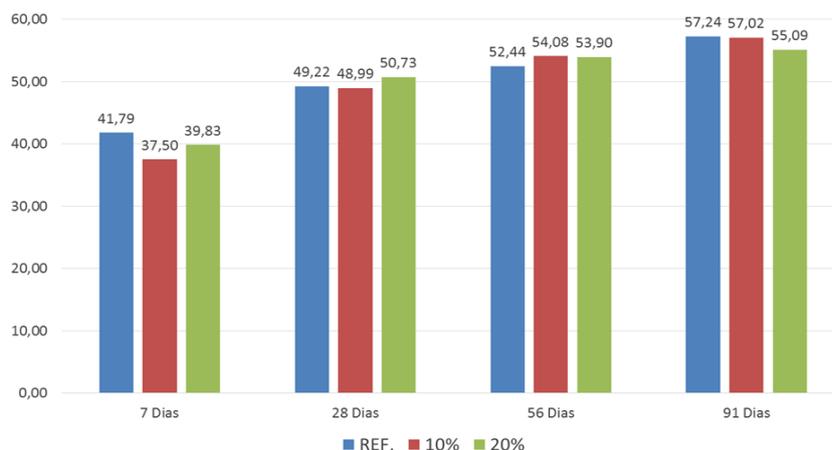


Gráfico 1. Resistência à compressão de concretos com agregado miúdo reciclado

Para os ensaios do agregado graúdo, aos 56 dias, os concretos com substituição de resíduo atingiram 56,11 MPa e 58,84 MPa, para 10% e 20% de substituição, enquanto o referencial atingiu 52,44 MPa. Já aos 91 dias, os valores se igualaram novamente, exceto pelo concreto com 10% de substituição que ficou abaixo da idade anterior. Apesar dessa discreta variação nos resultados, pode-se dizer que o concreto referencial e os concretos com a utilização do agregado graúdo reciclado se equiparam estatisticamente.

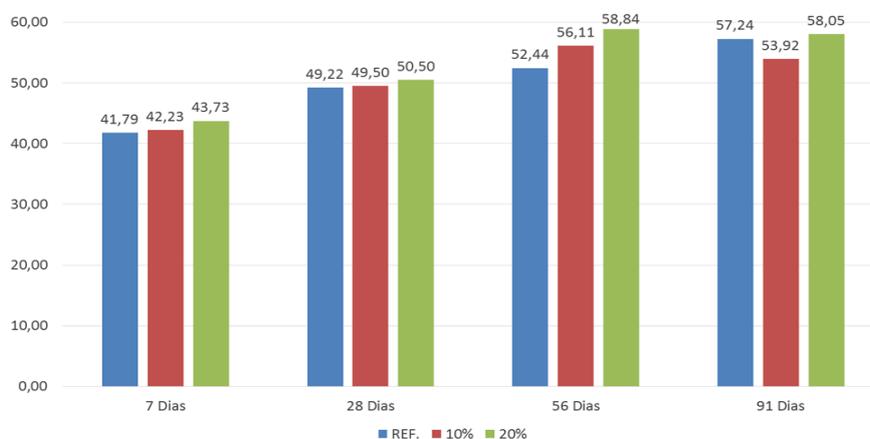


Gráfico 2. Resistência à compressão de concretos com agregado graúdo reciclado

3.2 Absorção por capilaridade

O gráfico 3 apresenta os resultados da absorção por capilaridade de concretos com substituição parcial do agregado miúdo.

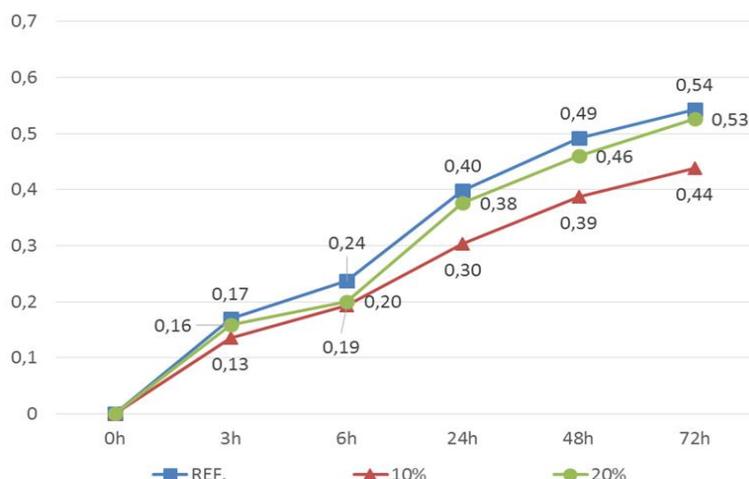


Gráfico 3. Absorção por capilaridade de concretos com agregado miúdo reciclado (g/cm²)

Os resultados referentes ao agregado miúdo reciclado representam que o concreto referência obteve a maior absorção de água em relação aos demais traços, obtendo absorção praticamente igual ao concreto com 20% de substituição. Destaca-se que o concreto com 10% de substituição apresentou as menores taxas de absorção. Estes resultados podem ser explicados pela reatividade pozolânica do agregado miúdo reciclado, que acaba diminuindo o volume de vazios no concreto, além do melhor fechamento destes vazios devido a melhor distribuição granulométrica da mistura.

O gráfico 4 apresenta os resultados da absorção por capilaridade de concretos com substituição parcial do agregado graúdo.

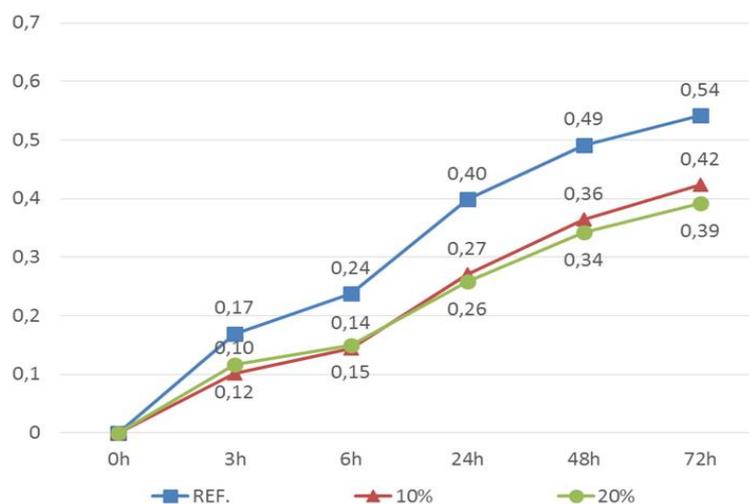


Gráfico 4. Absorção por capilaridade de concretos com agregado graúdo reciclado (g/cm²)

Quanto aos resultados do agregado graúdo reciclado, observa-se o bom desempenho dos concretos com 10% e 20% de substituição, os quais obtiveram resultados superiores comparados ao concreto referência. Mesmo com a absorção do agregado reciclado sendo muito superior ao agregado graúdo convencional, os concretos com utilização de resíduos obtiveram menores absorções, caracterizando melhores resultados. Essa melhora dos resultados pode ser explicada justamente pela maior absorção de água dos agregados reciclados, que consome a água que ficaria livre durante o processo de produção e que depois deixaria um maior número de vazios. Além disso, o formato dos grãos do agregado

gráudo reciclado é mais cúbico que o agregado gráudo convencional, que possui formato lamelar e, com isso, o agregado gráudo reciclado acumula menos águá livre em comparação ao agregado gráudo convencional.

3.3 Carbonatação Acelerada

As figuras 1 e 2 apresentam os resultados de carbonatação do concretos com substituição parcial do agregado miúdo, os quais permaneceram na câmara por 3 dias.



Figura 1. Carbonatação do concreto com substituição de 10% do agregado miúdo

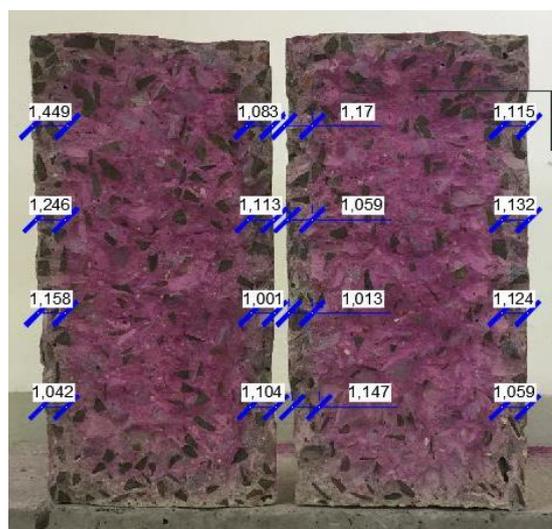


Figura 2. Carbonatação do concreto com substituição de 20% do agregado miúdo

Através das imagens é possível perceber que o concreto com substituição de 20% apresentou uma menor profundidade quando comparado ao concreto com substituição de 10%, obtendo profundidades médias de 1,47cm e 1,13cm, respectivamente. Os resultados de substituição de 10% e 20% foram superiores comparados ao concreto referência, que apresentou uma profundidade média de 1,66cm, apresentada na figura a seguir.



Figura 3. Carbonatação do concreto referência

Os resultados do agregado graúdo estão apresentados nas figura 4 e 5, após permanecerem o mesmo período do agregado miúdo.



Figura 4. Carbonatação do concreto com substituição de 10% do agregado graúdo

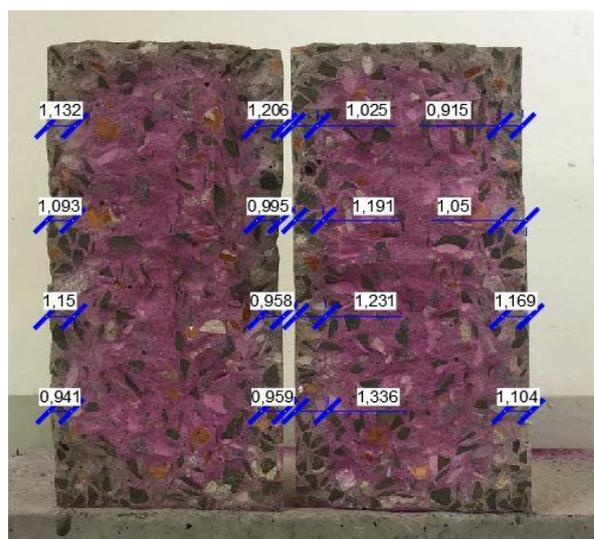


Figura 5. Carbonatação do concreto com substituição de 20% do agregado graúdo

Através das figuras percebe-se que da mesma forma que ocorreu com o agregado miúdo, os concretos com 20% e 10% de substituição apresentaram resultados superiores quando comparados ao concreto referência, apresentando os valores de profundidade de 1,10cm com 10% e 1,09cm com 20%.

As razões do melhor comportamento dos resultados de carbonatação acelerada nos concretos com utilização de resíduos para todos os traços se dá da mesma forma que para o ensaio de absorção por capilaridade.

3.4 Índice de Material Pozolânico

O ensaio de índice de material pozolânico foi realizado aos 28 dias após a produção dos corpos de prova de argamassa. O gráfico 5 apresenta a resistência média obtida no ensaio.

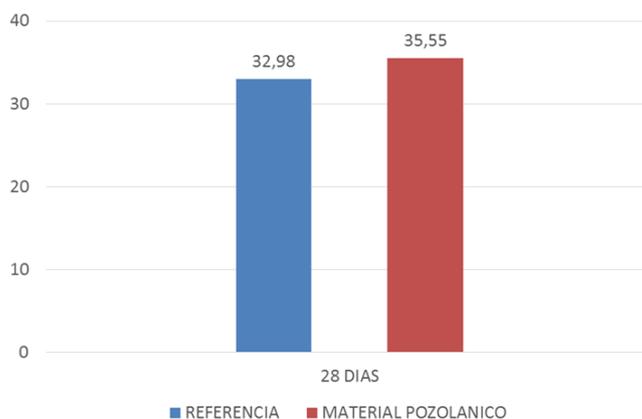


Gráfico 5. Resistências médias do ensaio de material pozolânico (MPa)

Percebe-se pelos resultados que as amostras que utilizaram 25% de substituição do cimento pelo material reciclado apresentaram resistência superior à amostra referência. Utilizando a equação prescrita pela norma, o índice de material pozolânico encontrado foi de 107,76%, provando que o material reciclado possui atividade pozolânica.

4. Conclusões

A partir dos resultados obtidos, pode-se perceber que os concretos com uso dos resíduos como substituição parcial dos agregados apresentaram excelente desempenho mecânico, apresentando resultados estatisticamente iguais ao concreto referência, demonstrando o bom comportamento dentro destes percentuais de substituição.

Da mesma forma, para o ensaio de absorção por capilaridade e carbonatação acelerada, percebe-se o melhor comportamento de todos os traços de substituição de resíduos em comparação ao concreto referência, demonstrando que os agregados reciclados podem ser superiores aos agregados convencionais, pois proporcionam uma redução no de vazios do concreto, contribuindo assim para uma maior vida útil das estruturas.

A pesquisa demonstra que podem ser utilizados resíduos da construção civil na substituição parcial dos agregados convencionais sem comprometer as estruturas, indicando inclusive uma melhora nas suas propriedades. Ainda há diversas barreiras a serem enfrentadas para que o uso do material reciclado seja permitido para uso em concretos estruturais e uma delas é o aumento do número de pesquisas com estes materiais, tendo assim, maior conhecimento da melhor maneira de emprego dos mesmos no concreto.

Referências

ÂNGULO, Sérgio C.; FIGUEIREDO, Antônio Domingues. **Concreto com Agregados Reciclados**. In: Concreto: Ciência e Tecnologia. Ed. G. C. ISAIA. 1.ed. v.1. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto: IBRACON, 2011.

CABRAL, A.E.B. **Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD**. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

JOHN, Vanderley M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. Tese (Doutorado). São Paulo. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Concrete Technology**. 2nd ed. United Kingdom: Pearson; 2010.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. São Paulo, 189 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.