

Estudo comparativo de resistência à compressão em concreto com uso de resíduos de construção civil (RCD) submetido ao efeito do gelo e degelo

O concreto possui as mais variadas aplicações, entre elas, a aplicação em pisos de câmara frias ou localizações onde o clima é mais frio, o que pode causar certas patologias. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a resistência, durabilidade e trabalhabilidade do concreto com o uso de resíduos de construção e demolição (RCD) em sua composição, em comparação com o concreto usual. Além disso, objetivou-se avaliar as mesmas amostras em condições de gelo e degelo. O estudo foi realizado com traço rico, utilizando o cimento CP V e a substituição de 20% de areia pelo RCD. As amostras foram divididas em 2 grupos: com e sem RCD. Dentro de ambos os grupos, os corpos de prova foram submetidos a ciclos de gelo e degelo em freezer a -10°C e colocados em um tanque com água para o descongelamento. Todos os corpos foram expostos a ensaios de resistência à compressão nas idades de 7, 14, 21 e 28 dias. De acordo com os resultados, observou-se que as amostras com RCD em cura normal apresentaram menores médias, em relação as amostras sem RCD em sua composição. Já as amostras que foram submetidas ao gelo e degelo apresentaram maiores resistências do que as amostras em cura normal, em que as amostras sem RCD apresentaram as maiores resistências. Portanto, conclui-se que tanto a presença de RCD na composição do concreto quanto as exposições ao gelo e degelo influenciam na resistência dos materiais.

Palavras-chave: Concreto; Gelo; Degelo; RCD.

Comparative study of compression resistance in concrete using construction and demolition waste (CDW) submitted to the effect of freezing and thawing

Concrete has the most varied applications, among them, the application on cold chamber floors or locations where the climate is colder, which can cause certain pathologies. The present work aimed to evaluate the strength, durability and workability of concrete with the use of construction and demolition waste (CDW) in its composition, in comparison with the usual concrete. In addition, the objective was to evaluate the same samples in ice and thawing conditions. The study was carried out with a rich mix, using CP V cement and replacing 20% of sand with CDW. Samples were divided into 2 groups: with and without CDW. Within both groups, the specimens were subjected to cycles of freezing and thawing in a freezer at -10°C and placed in a tank with water for thawing. All bodies were exposed to compressive strength tests at the ages of 7, 14, 21 and 28 days. According to the results, it was observed that the samples with CDW in normal cure presented lower averages, in relation to the samples without CDW in its composition. On the other hand, the samples that were submitted to freezing and thawing showed greater resistances than the samples in normal cure, in which the samples without CDW presented the highest resistances. Therefore, it is concluded that both the presence of CDW in the concrete composition and the exposure to freezing and thawing influence the resistance of the materials.

Keywords: Concrete; Ice; Thaw; CDW.

Topic: Engenharia Civil

Received: 01/12/2022

Approved: 25/05/2023

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Maria Brunna Mikaelly da Silva 

Centro Universitário Vale do Ipojuca, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/0608725878892330>

<https://orcid.org/0009-0006-4949-5501>

m.brunna.mikaelle2013@gmail.com

Luana Galdino de Almeida 

Centro Universitário do Vale do Ipojuca, Brasil

almeidaluana1010@gmail.com

Anderson Laursen 

Centro Universitário Vale do Ipojuca, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/5806021036385085>

<https://orcid.org/0000-0002-9941-905X>

anderson.laursen@professores.unifavip.edu.br



DOI: 10.6008/CBPC2318-3055.2023.001.0002

Referencing this:

SILVA, M. B. M.; ALMEIDA, L. G.; LAURSEN, A.. Estudo comparativo de resistência à compressão em concreto com uso de resíduos de construção civil (RCD) submetido ao efeito do gelo e degelo.

Engineering Sciences, v.11, n.1, p.10-17, 2023. DOI:

<http://doi.org/10.6008/CBPC2318-3055.2023.001.0002>

INTRODUÇÃO

O concreto surgiu no Século XIX e, apesar de parecer relativamente jovem, o concreto de fato já era utilizado há tempos nas antigas civilizações romanas. Este era base da maior parte das construções da época. Entretanto, os materiais utilizados como agregados e aglomerante não possuíam as características refinadas dos materiais utilizados atualmente. Com o avanço da tecnologia em sua fabricação, a indústria atual o tornou mais eficiente.

O concreto é obtido através da união de 4 componentes, sendo eles: aglomerante (cimento), agregados miúdos (areia), agregados graúdos (brita) e água. Estes materiais, em suas devidas proporções, formam o concreto que conhecemos como simples.

O endurecimento do concreto é o resultado do processo de hidratação, formado pela reação química entre o cimento e a água e que gera as propriedades de resistência do concreto endurecido. Uma das grandes versatilidades do concreto é de poder ser fabricado “in loco”, ou seja, no próprio canteiro de obras, ou pode ser adquirido de empresas especializadas, conhecidas como usina de concreto ou concretarias.

Atualmente, o concreto é o material de maior utilização nas construções civis no Brasil, e isso se dá por sua versatilidade, sendo possível utilizá-lo em diversas situações no processo construtivo, como em elementos estruturais de edificação, em pisos, lajes, entre outros.

Dentre todas as variações dos tipos de concreto, temos alguns exemplos como: simples, armado, protendido, leve, pesado, de alta resistência, autoadensável, entre outros, cada um com sua finalidade e características próprias. Entretanto, todos possuem a mesma base, que é a junção de aglomerante com agregados e água.

Outros componentes que também podem ser utilizados no concreto são os aditivos, que são adicionados no processo de produção. Os aditivos têm como função alterar as propriedades do material fresco e endurecido, visando ampliar as qualidades e minimizar as desvantagens da mistura. Trabalhabilidade, resistência e compacidade, são algumas das propriedades que podem ser melhoradas no concreto aditivado, bem como permeabilidade, retração e absorção de água reduzida.

Os agregados podem ser substituídos ou adicionados, em relação ao agregado graúdo, agregado miúdo ou ao cimento. Os mais comuns substitutos são: carvão vegetal, resíduos de construção e demolição (RCD) entre outros. Os agregados, segundo Kosmatka et al. (2011), podem ser classificados em três categorias: peso normal, peso leve e peso pesado.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a resistência, durabilidade e trabalhabilidade do concreto com o uso de RCD em sua composição, em comparação com o concreto usual. Além disso, objetivou-se avaliar as mesmas amostras em condições de gelo e degelo.

DISCUSSÃO TEÓRICA

Uso do RCD como agregado

Os resíduos de construção e demolição (RCD) são gerados nas atividades de construção, reforma ou

demolição, e são compostos por um conglomerado de materiais, tais como: tijolos, blocos cerâmicos (blocos, telhas, tijolos, placas de revestimento etc.), concreto em geral, madeira e compensados, argamassa, gesso, entre outros (BRASIL, 2002). Os RCD, pela Resolução CONAMA 307/02, são classificados em quatro classes, sendo elas: Classe A: São os resíduos reutilizáveis como agregados; Classe B: São resíduos para outras destinações, como, papel/papelão, plástico, metais, madeira, vidros e outros; Classe C: São resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis; Classe D: São resíduos perigosos proveniente do processo de construção, como tinta, solventes, provenientes dos reparos de clínicas radiológicas ou alguma instalação industrial. A utilização do RCD na construção civil pode ser como agregado miúdo, em substituição ou adição no traço.

O efeito do gelo e degelo no concreto

O concreto, quando submetido às baixas temperaturas, é capaz de armazenar água por se tratar de um material poroso. Sob a ação do congelamento, a água expande seu volume e consegue se movimentar mais facilmente pelos capilares do concreto, o que resulta em um aumento de pressão nas paredes (LIMA, 2008). Caso a pressão supere a resistência do material, ou o fluxo migratório não seja suficiente para aliviar a pressão, haverá a deformação dos capilares. O fenômeno descrito é geração da pressão hidráulica (LIMA, 2008).

Em regiões mais frias, alguns cuidados são necessários na preparação da concretagem. Segundo a ABNT NBR 7.222 (ABNT, 2011), é estabelecida uma temperatura mínima de 5°C para concretagem. Em complemento, a NBR 14.931 (ABNT, 2004) estabelece a interrupção da concretagem quando o ambiente estiver abaixo de 0°C nas 48h seguintes. Isso se dá pelo fato de que a temperatura do ambiente influencia na concretagem.

Segundo Kosmatka et al. (2011), o concreto ganha pouca resistência quando exposto às baixas temperaturas, e assim, o concreto recém misturado deve ser protegido contra efeitos do congelamento até que a saturação do concreto esteja suficientemente reduzida pelo processo de hidratação. Ainda segundo os autores, o concreto, quando exposto às baixas temperaturas quando fresco, pode sofrer uma redução significativa na resistência final, até cerca de 50%. O mesmo pode ocorrer quando o concreto é congelado algumas horas após a concretagem ou antes de atingir uma resistência à compressão de 3,5 Mpa (KOSMATKA et al., 2011).

METODOLOGIA

Traço utilizado

O traço utilizado foi um traço rico, tendo como referência 1:3,5, com teor de argamassa de 50% e uma relação a/c (água/cimento) de 0,52%. Utilizou-se uma substituição de areia por RCD de 20% em relação ao peso da areia. Contudo, para uma maior análise e precisão dos resultados, também se utilizou traço sem a substituição, com as mesmas referências.

Materiais utilizados

O cimento utilizado foi o CP V, o agregado graúdo usado foi a brita 19 mm, areia peneirada e RCD como agregados miúdos. Em ambos os traços foram utilizados a mesma quantidade de material, e o que difere um traço do outro é a substituição da areia pelo RCD. Os agregados estão de acordo com as normas NBR NM 46 (ABNT, 2003), NBR NM 30 (ABNT, 2001) e NBR NM 248 (ABNT, 2003).

Granulometria do RCD

O ensaio de granulometria do agregado miúdo (RCD) foi realizado de acordo com a norma NBR NM 248 (ABNT, 2003). Seguindo a norma, foram utilizadas as seguintes peneiras: malha 4 (4,75 mm); malha 8 (2,36 mm); malha 16 (1,18 mm); malha 30 (600 μm); malha 50 (300 μm) e malha 100 (150 μm).



Figura 1: Ensaio de granulometria sendo executado.

Slump test



Figura 2: Realização do slump test.



Figura 3: Medição do abatimento do concreto.

Após a produção do concreto em betoneira, realizou-se o ensaio de abatimento pelo método de

tronco de cone (slump test) de acordo com a norma NBR NM 67 (ABNT, 1996), com abatimento determinado de $100 \text{ mm} \pm 2$. O slump test foi executado da seguinte forma: um molde cônico foi preenchido com o concreto em três camadas. Em cada camada, foram deferidos vinte e cinco golpes com a haste de compactação, como mostra a **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, para o devido preenchimento do concreto no tronco de cone. Em seguida, o molde foi retirado cuidadosamente e mediu-se o abatimento do concreto, como mostra a **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Após, moldes cilíndricos de 10 x 20 cm foram preenchidos com concreto e deixados por 24h para secagem antes de serem desmoldados, de acordo com a norma NBR 5.738 (ABNT, 2015).



Figura 4: Corpos de prova moldados.

Passadas as 24h, todos os corpos de prova foram desmoldados e colocados no tanque com água para o processo de cura. Tanto o traço com RCD quanto o sem foram submetidos ao mesmo processo.

Ciclo de gelo e degelo e ensaio de resistência à compressão

Passados os sete dias de cura no tanque com água, os corpos de prova foram retirados e submetidos ao primeiro ensaio de resistência à compressão, seguindo a norma NBR 5.739 (ABNT, 2018). Os corpos de prova foram divididos em dois grupos: um grupo com a substituição de areia pelo RCD e o outro sem substituição. Os grupos foram subdivididos em mais duas partes, sendo que uma parte permaneceu no tanque e outra parte foi levada ao freezer, para a realização dos ciclos de gelo e degelo.

Os ciclos de gelo consistiam no congelamento do concreto durante 24 horas no freezer à uma temperatura de -10°C . Após as 24h, os corpos eram retirados e colocados novamente em água (degelo), e assim encerrando um ciclo. Os ciclos foram repetidos por mais sete dias e o ensaio de resistência à compressão foi realizado novamente. Dessa forma, foram contabilizados três ciclos de gelo e degelo, podendo ser feito um comparativo com os corpos de prova que seguiram pelo processo normal em água. Os ensaios foram realizados a cada 7 dias e finalizados no 28º dia, em ambos os traços.

RESULTADOS

Análise granulométrica do RCD

O ensaio de granulometria do RCD como agregado foi realizado de acordo com a norma NBR NM 248 (ABNT, 2003). A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta os resultados obtidos no ensaio realizado em laboratório.

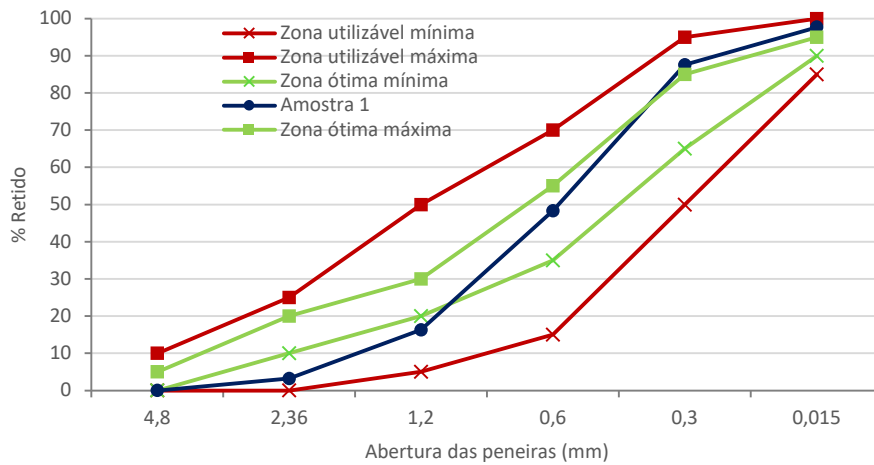


Figura 5: Análise do ensaio de granulometria.

De acordo com a **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, observa-se que o RCD está dentro da zona ótima e da zona utilizável e pode ser usado como agregado miúdo. Entretanto, deve ser levado em consideração que o uso do RCD influencia na resistência do concreto. O concreto de formal geral é poroso e o RCD contribui para o aumento dessa porosidade, o que o deixa mais vulnerável para a manifestação de diversas patologias. Deve ser levado em consideração também a função do concreto, para que seja analisado o uso do RCD como agregado ou não.

Ensaio de resistência à compressão

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados de acordo com a norma NBR 5.739 (ABNT, 2018). Estes foram executados a cada sete dias, em que a resistência do concreto foi comparada em diferentes fases.

No primeiro ensaio realizado com sete dias de cura, o concreto sem uso do RCD obteve uma média de resistência de 39,56 MPa. Já o concreto com uso do RCD obteve uma média de 34,32 MPa, conforme pode ser observado na

Tabela 1. Essa perda de resistência deve-se ao fato do que o RCD aumenta a porosidade do concreto, o que influencia sua a resistência e durabilidade. O segundo ensaio de resistência a compressão foi realizado com 14 dias e os resultados podem ser verificados na **Tabela 2.**

Tabela 1: Resultados do ensaio de resistência a compressão com 7 dias.

Idade do CP (dias)	Com RCD em cura normal	Sem RCD em cura normal
7	33,60	40,02
	33,96	39,29
	35,41	39,38
Média (MPa)	34,32	39,56
Desvio Padrão (MPa)	0,95	0,00
Coefficiente de variação	2,78	0,00

Os corpos de prova submetido aos ciclos de gelo e degelo já haviam passado por quatro ciclos,

durante os sete dias. A média de resistência obtida no concreto com uso de RCD em cura normal foi de 38,23 Mpa. Já o concreto submetido aos ciclos de gelo e degelo obtiveram uma média de 36,11 Mpa. Em contrapartida, a média obtida no concreto sem o uso do RCD em cura normal foi de 43,86 MPa, enquanto o concreto que passou por os ciclos de gelo e degelo teve uma média de 41,93 MPa. Pode-se observar que o concreto submetido aos ciclos de gelo e degelo perderam resistência, e a diferença é um pouco maior entre o concreto que houve a utilização do RCD e o concreto em que não houve o uso do RCD. A apresenta os dados do teste com 14 dias. O terceiro ensaio de resistência a compressão foi realizado com 21 dias e os resultados podem ser verificados na **Tabela 3**.

Tabela 2: Resultados do ensaio de resistência a compressão com 14 dias.

Idade do CP (dias)	Com RCD em cura normal	Com RCD e com gelo e degelo	Sem RCD em cura normal	Sem RCD e com gelo e degelo
14	38,60	36,99	43,98	42,19
	37,94	37,56	43,53	42,21
	38,15	33,78	44,07	41,39
Média (MPa)	38,23	36,11	43,86	41,93
Desvio Padrão (MPa)	0,34	2,039	0,29	0,47
Coefficiente de Variação	0,8841	5,648	0,6574	1,114

Tabela 3: Resultados do ensaio de resistência a compressão com 21 dias.

Idade do CP (dias)	Com RCD em cura normal	Com RCD e com gelo e degelo	Sem RCD em cura normal	Sem RCD e com gelo e degelo
21	41,09	38,27	38,75	42,41
	39,67	35,10	47,18	44,34
	40,40	36,31	46,97	43,66
Média (MPa)	40,39	36,56	44,30	43,47
Desvio Padrão (MPa)	0,71	1,60	4,81	0,98
Coefficiente de Variação	0,88	5,65	0,66	1,11

O concreto submetido aos ciclos de gelo e degelo passaram por nove ciclos. A média de resistência do concreto com uso de RCD que passou pelo processo de cura normal foi de 40,39 MPa, enquanto o concreto que passou pelo processo de gelo e degelo obteve uma média de 36,56 Mpa. Pode ser observado que o concreto que passa pelos ciclos de gelo e degelo perde resistência com o passar da quantidade de dias e ciclos. O concreto sem RCD em cura normal obteve uma média de 44,30 MPa, enquanto o que passou pelo processo de gelo e degelo obteve uma média de 43,47 MPa, uma diferença pequena quando comparada com o concreto com RCD. O quarto e último ensaio de resistência a compressão foi realizado no 28º dia e o resultado pode ser verificado na **Tabela 4**.

Tabela 4: Resultados do ensaio de resistência a compressão com 28 dias.

Idade do CP (dias)	Com RCD em cura normal	Com RCD e com gelo e degelo	Sem RCD em cura normal	Sem RCD e com gelo e degelo
28	41,31	40,84	47,30	47,54
	37,76	42,38	45,66	46,60
	35,14	10,73	43,43	46,20
Média (MPa)	38,07	41,31	45,46	46,78
Desvio Padrão (MPa)	3,10	0,93	1,94	0,69
Coefficiente de Variação	8,13	2,24	4,27	1,47

O concreto com uso do RCD submetido ao processo de gelo e degelo já havia passado por quinze ciclos de gelo e degelo, e obteve uma média de 41,31 MPa, enquanto o concreto que passou pela cura normal

obteve uma média de 38,07 MPa. Já o concreto sem RCD, que passou pelo processo de gelo e degelo, obteve uma média de 46,20 MPa, enquanto o que passou pela cura normal obteve uma média de 45,46 MPa.

Como mostrado na **Tabela 4**, tanta a média do concreto com RCD quanto do sem e que foram submetidos aos ciclos de gelo e degelo obtiveram um resultado maior do que o concreto que passou pelo processo de cura normal, submerso em tanque com água. Pode-se observar que o processo de gelo e degelo retardou o processo de cura do concreto.

CONCLUSÕES

Portanto, de acordo com os resultados obtidos pelo estudo, observa-se que o agregado influencia diretamente na resistência do concreto. Outra observação a ser feita é que o processo de gelo e degelo afeta o concreto. Assim, em regiões de temperaturas mais baixas, deve-se analisar o cimento a ser usado, dando preferência a um traço rico. O traço utilizado para análises e comparações foi um traço rico, com utilização do cimento CP V, logo ele apresentou uma alta resistência em poucos dias. Para um resultado ainda mais detalhado, recomenda-se repetir os mesmos testes em traços diferentes, outros tipos de cimentos e outros agregados. Contudo de uma forma geral o processo de congelamento e descongelamento.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5.738**: Concreto: Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14.931**: Execução de estruturas de concreto: Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5.739**: Concreto: Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7.222**: Concreto e argamassa: Determinação da resistência a trado por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 248**: Agregados: Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 30**: Agregado miúdo: Determinação da absorção de água.

Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 46**: Agregados: Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 67**: Concreto: Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002**. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Brasília: DOU, 2002.

KOSMATKA, S. H.; WILSON, M. L.. **Design and control of concrete mixtures**. 15 ed. Illinois, 2011.

LIMA, S. M.. **Concreto de alto desempenho aplicado a sistemas de processamento e armazenagem de alimentos em baixas temperaturas**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

Os autores detêm os direitos autorais de sua obra publicada. A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detêm os direitos materiais dos trabalhos publicados (obras, artigos etc.). 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 ou digitais sob coordenação 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.