

Durabilidade de concretos com agregado graúdo reciclado frente a ação do dióxido de carbono

THAINÁ Y. DESSUY - EST. - <https://orcid.org/0000-0002-8659-9020> (dessuy.ty@gmail.com) | UFRGS
LUCAS F. KRUG - PROF. - <https://orcid.org/0000-0002-4433-493X> | UNIJUÍ

RESUMO

O TRABALHO SE JUSTIFICA EM VERIFICAR A UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS GRAÚDOS RE-CLICADOS, QUE SUBSTITUÍRAM PARCIALMENTE (10%, 20% E 30%, EM MASSA) O AGREGADO GRAÚDO NATURAL EM CONCRETOS. PARA ISSO, FORAM DOSADOS CONCRETOS PELO MÉTODO ABCP E CONFECCIONADOS CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS 10 X 20CM, EM MISTURADOR MECÂNICO, PARA UM ABATIMENTO DE (12 ± 1) CM. NO ESTUDO, FORAM AVALIADOS OS CONCRETOS DE REFERÊNCIA, PRODUZIDOS COM AGREGADO GRAÚDO NATURAL DE ROCHA COM ORIGEM BASÁLTICA, ALÉM DOS CONCRETOS COM AGREGADO GRAÚDO RECICLADO PROVENIENTES DE RECICLADORA DE ORIGEM MISTA, CONSTITUÍDOS DE RESÍDUOS CLASSIFICADOS EM CLASSE A, CONFORME A RESOLUÇÃO DO CONAMA 307/02. APÓS MOLDA- GEM, E NAS IDADES PRÉ-ESTABELECIDAS, FORAM REALIZADOS OS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO, ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE E PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO. COM OS RESULTADOS OBTIDOS, FORAM OBSERVADOS QUE OS CONCRETOS REFERÊNCIA E COM SUBSTITUIÇÃO DE 10% OBTIVERAM RESULTADOS IGUAIS, ESTATISTICAMENTE, NOS ENSAIOS PROPOSTOS, MOSTRANDO, ASSIM, SUA VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO EM CONCRETOS COMO AGREGADO RECICLADO.

PALAVRAS-CHAVE: AGREGADO, RECICLADO, CONCRETO.

1. INTRODUÇÃO

A exploração e utilização dos recursos naturais, principalmente dos não renováveis, para fins de construção, geram grande quantidade de resíduos de construção civil (RCC), classificando a indústria da construção civil como uma das mais exploradoras dos recursos naturais e a que mais gera resíduos [1]. Os RCC representam um dos maiores fluxos de resíduos no mundo, compondo cerca de 30% a 40% da quantidade total dos resíduos sólidos urbanos

(RSU) gerados nos países [2] e podem ser provenientes da ausência de gestão do processo construtivo ou de demolições ocorridas nas edificações, devido à necessidade de realizar novas construções ou devido à ocorrência de algum tipo de desastre natural [3].

A reciclagem é vista como a prática mais atrativa ao possibilitar a sustentabilidade na construção civil, principalmente na construção em concreto [4]. Contudo, incorporar agregados reciclados de RCC em concretos ainda é uma atividade limitada pelo fato de eles apresentarem características diferentes em relação aos agregados naturais, conferindo, em geral, baixa qualidade e baixo valor agregado [5].

O presente trabalho se justifica em estudar concretos com substituição parcial (10%, 20% e 30%, em massa) do agregado graúdo natural de origem basáltica por agregado graúdo reciclado misto de classe A (CONAMA 307/02), proveniente de recicladora localizada na região do noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (RS), através dos ensaios de resistência à compres-

são, absorção de água por capilaridade e profundidade de carbonatação, comparando seus resultados obtidos com o do concreto referência, a fim de incentivar seu emprego no próprio mercado da construção civil como forma de contribuir com a preservação do meio ambiente.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1 Materiais

Os materiais utilizados na confecção dos concretos foram os seguintes: a) cimento Portland composto com filer calcário, de classe de resistência igual a 32 MPa (CP II F - 32), com massa específica de 3,217 kg/dm³ [6]; b) agregado graúdo natural (AGN) de origem basáltica, pertencente à zona granulométrica d/D = 4,75/12,5 (brita 0); c) agregado graúdo reciclado (AGR) de origem mista de resíduos classificados como classe A (CONAMA 307/02), proveniente de empresa recicladora de RCC (localizada no município de Santa Rosa - RS); e d) agregado

TABELA 1

CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS UTILIZADOS

Agregado graúdo	Norma	Natural (brita basáltica)	Reciclado
Massa específica seca	[7]	2,880 g/cm ³	2,030 g/cm ³
Absorção de água	[7]	1,53%	11,03%
Dimensão máxima característica	[8]	9,50 mm	13 mm
Módulo de finura	[8]	5,94	5,79
Agregado miúdo	Norma	Natural (areia quartzosa)	
Massa específica seca	[9]	2,574 g/cm ³	
Dimensão máxima característica	[8]	1,20 mm	
Módulo de finura	[8]	1,62	

TABELA 2

DOSAGEM DOS CONCRETOS

Traço	Quantidade dos materiais (kg/m ³)						a/c	Slump (cm)
	C	AMN	AGN	AGR	Água calculada	Água de moldagem		
C_0%	522,510	568,000	1080,700	NSA	230	276,850	0,411	12,3
C_10%	522,510	568,000	972,630	1080,870	230	304,694	0,453	12,2
C_20%	522,510	568,000	864,560	216,140	230	328,162	0,487	12,0
C_30%	522,510	568,000	756,490	324,210	230	381,862	0,567	12,5

*C = CIMENTO; A/C = RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO; SLUMP = ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE

miúdo natural (AMN) de origem quartzosa proveniente de jazidas da região do noroeste do RS.

A caracterização básica dos agregados utilizados seguiu algumas normas vigentes de método de ensaio aplicáveis a agregados para concreto, cujos resultados podem ser observados na Tabela 1. Não foram empregados aditivos, tendo-se utilizado água para atingir o abatimento pré-estabelecido de (12 ± 1) cm.

2.2 Produção dos concretos

A dosagem dos concretos seguiu a metodologia ABCP, na qual se considerou a caracterização dos materiais naturais, definindo-se uma resistência de 30 MPa aos 28 dias de cura, com abatimento fixado em (120 ± 10) mm.

Com a quantidade definida dos constituintes da mistura referência, confeccionaram-se concretos com 10%, 20% e 30% de substituição, em massa, do agregado graúdo natural por agregado graúdo reciclado misto de RCC. Para a mistura, empregou-se uma betoneira de eixo horizontal de capacidade de 120 l, previamente imprimada com uma fina camada de cimento, areia e água, tendo o abatimento sido fixado em (120 ± 10) mm, cujo ensaio está prescrito no método de ensaio [10]. O critério em adotar estes percentuais teve respaldo no fato de que até uma substituição de 30% de agregado natural por agregado reciclado não altera as propriedades do concreto de maneira significativa, conforme estudos já realizados [11], [12], [13], [14], [15], [16].

Cada mistura produzida foi identificada de acordo com a porcentagem de substituição do agregado graúdo natural por reciclado de RCC, cujo traço, relação a/c fi-

nal e valor de abatimento encontrado para cada concreto estão demonstrados na Tabela 2. Na confecção dos corpos de prova, não se empregou nenhum procedimento de compensação de água e de volume, de modo a facilitar o processo de produção dos concretos e simular uma situação real nos canteiros de obras.

Foram confeccionados, no total, 72 corpos de prova cilíndricos 10 x 20, e a cura dos corpos de prova foi conforme [17]. Nas primeiras 24 horas, a cura foi ao ar, em superfície plana e temperatura ambiente. Após isso, os corpos de prova foram acondicionados em câmara úmida com temperatura e umidade controladas ($23 \pm 2^\circ$ C e 95%, respectivamente), em tempos definidos para cada ensaio. Os corpos de prova destinados para o ensaio de resistência à compressão foram curados 7, 28 e 56 dias, já os corpos de provas destinados ao ensaio de absorção de água por capilaridade e carbonatação acelerada tiveram cura de 28 dias.

2.3 Método de ensaios

Os concretos produzidos foram avaliados por meio de propriedades no estado fresco (massa específica [18]) e endurecido (resistência à compressão axial [19], absorção por capilaridade [20] e carbonatação acelerada [21]).

Os corpos de prova destinados ao ensaio de carbonatação, após os 28 dias de cura em câmara úmida, foram cortados com máquina de policorte, em três partes de alturas iguais e deixados no meio natural para perda de umidade livre por 28 dias. Após este período, os corpos de prova foram postos no interior de uma câmara de carbonatação, com concentração de CO₂

prescrita em norma [21] de $(5 \pm 1)\%$, umidade relativa do ar de $(60 \pm 5)\%$ e temperatura de $(23 \pm 3)^\circ$ C, e nas idades de 21, 28 e 35 dias inseridos no interior da câmara. Nestas condições, foram avaliadas as profundidades de carbonatação. Ao final destas idades, aspergia-se solução em álcool de fenolftaleína de concentração de 1% na parte interna do concreto. Para auxiliar na medição da profundidade de carbonatação, utilizou o software Autocad, que através de imagens realizadas no dia do ensaio, foram inseridas em tamanho real para medir cotas da espessura incolor do concreto, sendo a profundidade de carbonatação a média de todas as cotas, metodologia que é adotada no Laboratório de Engenharia Civil (LEC) da UNIJUÍ.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Massa específica no estado fresco

Os resultados obtidos de massa específica aparente dos concretos no estado fresco podem ser observados na Figura 1, que demonstra que as massas específicas aparentes dos concretos com agregado graúdo reciclado são menores que a massa específica do concreto referência (0% de teor de substituição). Esse comportamento pode ser atribuído ao fato dos agregados graúdos reciclados possuírem argamassa aderida ao agregado natural antigo, proporcionando um agregado reciclado com fases mais porosas e com menor densidade que o convencional (natural de basalto).

Ainda, conforme a Figura 1, nota-se que à medida que aumenta o teor de substituição, há a redução da massa específica do concreto no estado fresco, comportamento já esperado. Também, percebe-se que

a maior massa específica encontrada nos concretos com agregado graúdo reciclado de RCC misto foi no concreto com 10% de substituição, com uma diferença de 1,31% em relação ao concreto com agregado graúdo natural, e a menor massa específica foi obtida na mistura com 30% de substituição, com uma diferença de 4,20% do concreto com agregado natural.

3.2 Resistência à compressão

As resistências médias à compressão estão apresentadas na Figura 2. No geral, de acordo com a Figura 2, verifica-se que à medida que se aumenta a idade do concreto, aumenta a resistência à compressão dos concretos, como esperado. Ainda, nota-se que quanto maior o teor de substituição do agregado graúdo natural por reciclado, menor foi a resistência à compressão, sendo que, nas idades de 28 e 56 dias, a redução segue uma tendência linear decrescente, já na idade de 7 dias, o concreto referência se assemelha ao concreto com 10% de substituição, seguindo essa semelhança nos concretos com 20% e 30% de substituição. Esse comportamento pode ser atribuído à maior porosidade do agregado graúdo reciclado em comparação ao agregado graúdo natural, já que os agregados graúdos reciclados possuem maior porosidade, de modo que a resistência à compressão desses concretos não é apenas influenciada pela porosidade da pasta de cimento, mas, também, pela porosidade do agregado.

Também, conforme a Figura 2, a rela-

ção a/c interferiu diretamente na resistência do concreto, sendo que quanto maior foi a relação a/c da mistura, menor foi a resistência. Esse comportamento já era esperado, sendo, portanto, condizente ao comportamento clássico definido pela Lei de Abrams. Um fato adicional foi observado: a relação a/c esteve sempre diretamente relacionada com a absorção do agregado reciclado, de modo que o concreto com agregado graúdo reciclado sempre necessitava de mais água para atingir a mesma consistência, o que implicou maiores relações a/c para estes concretos (com agregados reciclados). Por esta razão, somada ao fato do agregado reciclado ser mais poroso e menos resistente, pode-se observar na Figura 2 que a resistência à compressão diminuiu com o aumento da substituição (%) do agregado graúdo natural por agregado graúdo reciclado. Em função do aumento do grau de maturidade dos concretos, observam-se, também, acréscimos de resistência com a idade.

Com os respectivos dados, realizou-se uma análise de variância (ANOVA) com o intuito de verificar a significância das variáveis independentes [teor de substituição (%), idade (dias) e teor de substituição (%) x Idade (dias)] na variável dependente (resistência à compressão). A ANOVA mostrou que todas as variáveis são significativas e a que mais influenciou na resistência à compressão dos concretos estudados foi a idade (dias) ($F_{\text{calculado}} = 98,584$), seguido da variável teor de substituição ($F_{\text{calculado}} = 31,342$) e da interação entre o teor de substituição (%) com a idade (dias)

- $F_{\text{calculado}} = 3,474$. Ainda, considerando os valores obtidos de valor - p, para um nível de significância de 5%, todas as variáveis consideradas possuem efeito significativo na variável de resposta, ou seja, há combinações de pares das variáveis que são diferentes entre si.

Para verificar quais pares eram diferentes entre si, nas variáveis que, através da ANOVA, são consideradas significativas, realizou-se uma comparação múltipla de médias por meio do teste de Tukey. Observou-se que os concretos com agregado graúdo natural e concretos com agregados graúdos reciclados não possuíam diferença significativa aos 7 dias, e essa não diferenciação se manteve para a mistura de referência na comparação com o concreto contendo 10% de substituição para as idades de 28 e 56 dias. Ademais, a não diferenciação de médias ocorreu nas misturas de 20% e 30% de substituição, da idade de 28 dias; já na idade de 56 dias, ocorreu diferenciação entre as médias.

3.3 Absorção de água por capilaridade

Os resultados médios obtidos, nos respectivos períodos de ensaio, estão demonstrados na Figura 3. Nota-se que os concretos com agregado graúdo reciclado obtiveram, em geral, maiores absorções de água em comparação ao concreto referência, sendo esse aumento maior quanto maior foi o teor de substituição. Esse comportamento se deve à maior absorção do agregado graúdo reciclado em comparação ao

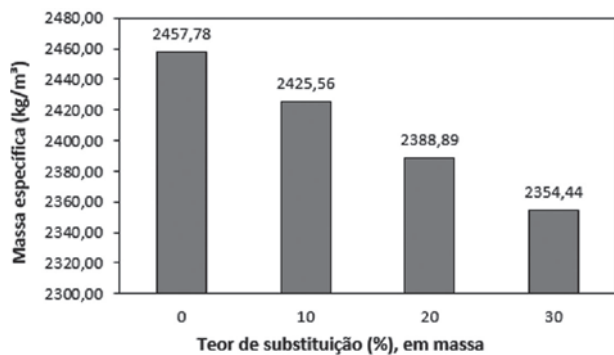


FIGURA 1

MASSA ESPECÍFICA APARENTE DOS CONCRETOS NO ESTADO FRESCO, EM KG/M^3

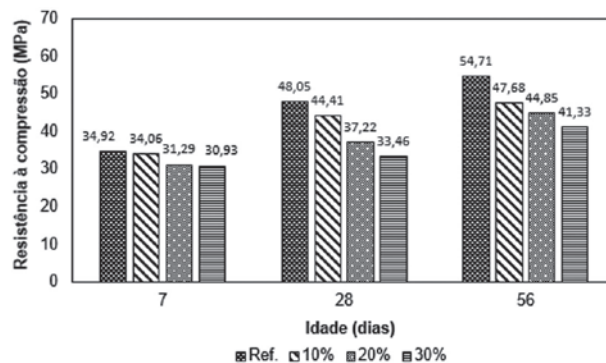


FIGURA 2

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO MÉDIA AOS 7, 28 E 56 DIAS DE IDADE

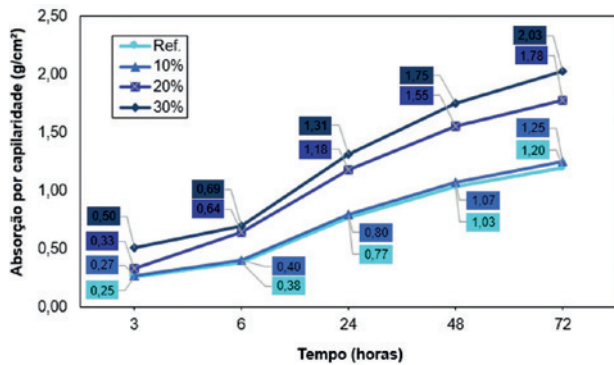


FIGURA 3
ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE AOS 28 DIAS DE IDADE

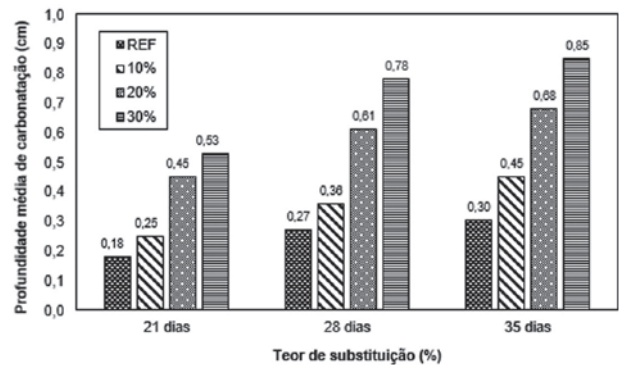


FIGURA 4
PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO ACELERADA AOS 21, 28 E 35 DIAS DE ENSAIO

agregado gráudo convencional, o qual produz um concreto com maior porosidade e, logo, com maior absorção de água.

Também, conforme a Figura 3, observa-se que os valores de absorção de água por capilaridade nas misturas do concreto referência e 10% de substituição se mostraram semelhantes, bem como os dados obtidos nas misturas de 20% e 30% de substituição. Também, nota-se que, ao passar o tempo do ensaio, maiores foram as absorções dos concretos.

Para dar maior confiabilidade aos respectivos dados, realizou-se uma análise de variância (ANOVA), que mostrou um efeito significativo das variáveis independentes teor de substituição (%) e tempo de ensaio (horas), analisadas isoladamente, sem, contudo, resultar significativa a interação dessas duas variáveis. A variável que mais influenciou a absorção de água por capilaridade das misturas estudadas foi o tempo de ensaio ($F_{\text{calculado}} = 64,162$), seguida da variável teor de substituição ($F_{\text{calculado}} = 19,912$), sendo que a interação dessas variáveis não resultou significativa, para um nível de significância de 5%.

Nas variáveis que foram significativas pela ANOVA, realizou-se complementarmente a comparação múltipla de médias, por meio do teste de Tukey. Esta análise mostrou que os valores encontrados para o concreto referência e para o concreto com 10% de substituição são considerados não diferentes entre si

(são semelhantes), para os vários períodos do ensaio. Também, na comparação dos concretos com 20% e 30% de substituição, os valores médios de absorção foram considerados não diferentes entre si. A igualdade das médias e suas diferenciações citadas são bem nítidas e podem ser observadas na Figura 3, que mostra claramente a existência desses dois grupos: um contendo o concreto de referência e o concreto com 10% de agregado reciclado, e o outro contemplando os concretos com 20% e 30% de agregado reciclado.

3.4 Carbonatação acelerada

Os resultados médios obtidos, nos respectivos períodos de ensaio (21, 28 e 35 dias), estão apresentados na Figura 4. Observa-se que os concretos com agregado gráudo reciclado obtiveram as maiores profundidades de carbonatação em comparação ao concreto referência, que obteve os menores valores, para os três tempos de medida. Esse aumento foi diretamente proporcional ao teor de substituição do agregado gráudo natural por reciclado. Esse comportamento se deve à maior porosidade do agregado gráudo reciclado, que contribui de maneira significativa com a maior porosidade global do concreto, fato este marcante nos resultados observados. De modo discreto, observa-se que os valores de profundidade de carbonatação no concreto referência estão relativamente mais próximos ao concreto com 10% de

substituição, enquanto os valores médios obtidos nas misturas de 20% e 30% de substituição estão também mais próximos. Apesar disso, ficam evidentes as maiores profundidades de carbonatação para os concretos com RCC, sendo este comportamento acentuado nos maiores teores de agregado reciclado.

Para verificar a significância das variáveis independentes [teor de substituição (%), tempo de ensaio (dias) e teor de substituição (%) x Tempo (dias)] na variável dependente (carbonatação acelerada), realizou-se uma análise de variância (ANOVA). Esta análise mostrou que apenas a variável independente substituição (%) influenciou na carbonatação acelerada. Provavelmente, como os tempos de ensaio foram muito próximos, isto não produziu diferenças significativas nas profundidades de carbonatação.

Nas variáveis que foram significativas pela ANOVA (no caso apenas o teor de substituição), realizou-se sequencialmente uma comparação múltipla de médias, por meio do teste de Tukey. Esta análise mostrou que o concreto de referência se diferenciou apenas do concreto com 30% de substituição. Mesmo com essa constatação pela comparação múltipla de médias, é indiscutível a maior propensão à carbonatação dos concretos com RCC na comparação ao concreto de referência.

4. CONCLUSÕES

Considerando os resultados obtidos no programa experimental, pode-se concluir:

- ▶ **Quanto à massa específica no estado fresco:** todos os concretos analisados são considerados com densidade normal, sendo que a massa específica do concreto foi maior no concreto referência e menor nos concretos com agregado graúdo reciclado, obtendo uma máxima redução no concreto de 30% de substituição;
- ▶ **Quanto à resistência à compressão:** o concreto referência obteve as maiores resistências, em ambas as idades analisadas. Porém, estatisticamente, a resistência do concreto referência com a do concreto de 10% de substituição do agregado graúdo natural por reciclado são estatisticamente semelhantes, para as três idades analisadas (7, 28 e 56 dias), diferenciando-se das resistências dos concretos de 20% e 30% de substituição, que são iguais entre si. A redução máxima alcançada na

resistência à compressão em relação ao concreto referência foi no concreto com 30% de substituição;

- ▶ **Quanto à absorção por capilaridade:** o concreto referência absorveu menor quantidade de água em comparação aos concretos com agregados graúdos reciclados, tendo um aumento máximo de absorção na mistura de 30% de substituição. Além disso, estatisticamente, a absorção é similar entre o concreto referência e o concreto com 10% de substituição.
- ▶ **Quanto à carbonatação acelerada:** o concreto referência teve uma menor profundidade de carbonatação em relação aos concretos com agregado graúdo reciclado. No entanto, estatisticamente, a profundidade de carbonatação do concreto referência foi de uma mesma ordem de grandeza para as misturas nas dife-

rentes idades analisadas, com exceção da mistura com 30% de substituição, que foi maior em relação ao concreto referência.

Diante das conclusões expostas, o uso de agregados graúdos reciclados em concretos mostrou-se uma alternativa promissora considerando os ensaios realizados, principalmente a mistura com 10% de substituição, que possui as mesmas propriedades do concreto referência, estatisticamente. Fica a ressalva do comportamento em relação à carbonatação, que embora estatisticamente tenha mostrado similaridade entre os concretos (exceto o de 30% de substituição), ele evidencia, contudo, perdas em relação a este aspecto do desempenho e da durabilidade. Este resultado requer mais pesquisas, para que se tenha uma posição mais consistente sobre o assunto. ☺

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] NASCIMENTO, Carlos Fernando Gomes do *et al.* Viabilidade da substituição parcial do resíduo de construção civil pelo agregado miúdo nas propriedades físicas e mecânicas do concreto. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 8, p. 62073-62081, 2020.
- [2] AKHTAR, Ali; SARMAH, Ajit K. Construction and demolition waste generation and properties of recycled aggregate concrete: A global perspective. *Journal of Cleaner Production*, v. 186, p. 262-281, 2018.
- [3] MENEGAKI, Maria; DAMIGOS, Dimitris. A review on current situation and challenges of construction and demolition waste management. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, v. 13, p. 8-15, 2018
- [4] MISTRI, Abhijit *et al.* A review on different treatment methods for enhancing the properties of recycled aggregates for sustainable construction materials. *Construction and Building Materials*, v. 233, p. 117894, 2020.
- [5] WANG, Jianyun *et al.* Microbial carbonate precipitation for the improvement of quality of recycled aggregates. *Journal of cleaner production*, v. 156, p. 355-366, 2017.
- [6] ABNT. ABNT NBR 16605: Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.
- [7] ABNT. ABNT 16917: Agregado Graúdo — Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2021.
- [8] ABNT. ABNT NM 248: Agregados — Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
- [9] ABNT. ABNT NBR 16916: Agregado miúdo — Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2021.
- [10] ABNT. ABNT NBR 16889: Concreto — Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 2020.
- [11] Hansen, T.C. *Recycling of demolished concrete and masonry*. London: Chapman & Hall, 316 p. (1992).
- [12] Leite, M.B. Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. Porto Alegre, 270 p. Tese (Doutorado) — Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, (2001).
- [13] XIAO, J.; XIE, H. e YANG, Z. Shear transfer across a crack in recycled aggregate concrete. *Cement and Concrete Research*. February — 2012. pp. 700-709.
- [14] Medina, C., Zhu, W., Howind, T., Sánchez De Rojas, M. I., & Frías, M. (2014). Influence of mixed recycled aggregate on the physical-mechanical properties of recycled concrete. *Journal of Cleaner Production*, 68, 216-225.
- [15] Zong, L., Fei, Z., & Zhang, S. (2014). Permeability of recycled aggregate concrete containing fly ash and clay brick waste. *Journal of Cleaner Production*, 70, 175-182. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.02.040>.
- [16] XIAO, J.; SUN, C. e LANGE, D. A. Effect of joint interface conditions on shear transfer behavior of recycled aggregate concrete. *Cement and Concrete Research*, 2016. pp 3430455.
- [17] ABNT. ABNT NBR 5738: Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2016.
- [18] ABNT. ABNT NBR 9833: Concreto fresco — Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro, 2009.
- [19] ABNT. ABNT NBR 5739: Concreto — Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.
- [20] ABNT. ABNT NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 2013.
- [21] LNEC E-391/1993. *Betões: Determinação da resistência à carbonatação*, LNEC, Lisboa, Portugal.