

Investigação das propriedades do concreto convencional com adição de resíduos de casca de ovo

Investigation of the properties of conventional concrete with addition of eggshell residues

Investigación de las propiedades del hormigón convencional con la adición de residuos de cáscara de huevo

Recebido: 07/08/2021 | Revisado: 13/08/2021 | Aceito: 17/08/2021 | Publicado: 21/08/2021

Vander Alkmin dos Santos Ribeiro

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0260-2454>
Centro Universitário de Itajubá, Brasil
E-mail: vanderalkmin@gmail.com

Demarcus Werdine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9683-8307>
Centro Universitário de Itajubá, Brasil
E-mail: civil@fepi.br

Luciano Floriano Barbosa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4297-6143>
Centro Universitário de Itajubá, Brasil
E-mail: lucianofb@fepi.br

Adhimar Flávio Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2586-7359>
Universidade Federal de Itajubá, Brasil
E-mail: adhimarflavio@unifei.edu.br

Lemuel Bastos Rodrigues

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8695-6614>
Centro Universitário de Itajubá, Brasil
E-mail: Lemuel_br@hotmail.com

Lucas Ramon Roque Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0387-622X>
Universidade Federal de Itajubá, Brasil
E-mail: lucasramonroque@gmail.com

Resumo

O presente trabalho tem por objetivo estudar a influência da adição de resíduos de casca de ovo na resistência a compressão do concreto convencional. Várias pesquisas foram desenvolvidas com a finalidade de diminuir os custos de construção e investigar materiais apropriados, principalmente aqueles que não são convencionais. As atividades agroindustriais geram uma grande quantidade de resíduos com potencial para uma substituição parcial de areia e agregados grosseiros na fabricação de argamassa e concreto. Um produto gerado em grande quantidade em incubatórios é a casca de ovo, que, além de ser um descarte em grande quantidade, a eliminação é um problema, cria alergias quando é mantido no lixo, também um cheiro indesejável causando irritação. Os concretos foram ensaiados quanto à resistência à compressão nas idades de 14 e 28 dias. Em relação ao concreto com resíduos de casca de ovo tratada, foi elaborado o traço do concreto referência pelo método ABCP -ACI; sendo as respectivas porcentagens de substituição do volume do agregado miúdo por resíduos de casca de ovo (0% a 30%). Os resultados mostram que a resistência à compressão diminuiu com o aumento da porcentagem de resíduo de casca de ovo, o que indicou que o compósito era adequado para blocos e pisos.

Palavras-chave: Concreto; Resíduo de casca de ovo; Resistência a compressão; Módulo de Elasticidade.

Abstract

The present work aims to study the influence of the addition of eggshell residues on the compressive strength of conventional concrete. Several surveys have been developed with the purpose of reducing construction costs and investigating appropriate materials, especially those that are not conventional. Agroindustrial activities generate a large amount of waste with potential for a partial replacement of sand and coarse aggregates in the manufacture of mortar and concrete. A product generated in large quantities in hatcheries is eggshell, which, in addition to being a large amount of waste, disposal is a problem, it creates allergies when kept in the trash, also an undesirable smell causing irritation. The concretes were tested for compressive strength at the ages of 14 and 28 days. In relation to the concrete with treated eggshell residues, the reference concrete mix was elaborated by the ABCP-ACI method; the

respective percentages of replacement of the volume of fine aggregate by eggshell residues (0% to 30%). The results show that the compressive strength decreased with the increase in the percentage of eggshell residue, which indicated that the composite was suitable for blocks and floors.

Keywords: Concrete; Eggshell residue; Compressive strength; Modulus of elasticity.

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo estudiar la influencia de la adición de residuos de cáscara de huevo sobre la resistencia a la compresión del hormigón convencional. Se han desarrollado varias investigaciones con el propósito de reducir los costos de construcción e investigar los materiales adecuados, principalmente los que no son convencionales. Las actividades agroindustriales generan una gran cantidad de residuos con potencial de sustitución parcial de arena y áridos gruesos en la fabricación de morteros y hormigones. Un producto que se genera en grandes cantidades en las incubadoras es la cáscara de huevo, que además de ser una gran cantidad de desperdicio, su disposición es un problema, genera alergias cuando se guarda en la basura, además de un olor indeseable que causa irritación. Se ensayó la resistencia a la compresión de los hormigones a las edades de 14 y 28 días. En relación al hormigón con residuos de cáscara de huevo tratados, la mezcla de hormigón de referencia se elaboró por el método ABCP-ACI; los respectivos porcentajes de sustitución del volumen de agregado fino por residuos de cáscara de huevo (0% a 30%). Los resultados muestran que la resistencia a la compresión disminuyó con el aumento del porcentaje de residuo de cáscara de huevo, lo que indicó que el compuesto era adecuado para bloques y pisos.

Palabras clave: Hormigón; Residuos de cáscara de huevo; Fuerza compresiva; Módulo de elasticidad.

1. Introdução

Nos últimos anos, as estatísticas têm apontado o crescimento do volume de resíduos de casca de ovo com aproximadamente 120.000 toneladas por ano, sendo que o estado de São Paulo é o maior produtor de ovos, com quase 36% da produção nacional (Freire e Holanda, 2016). Esse resíduo, embora não seja perigoso na maioria das vezes é eliminado diretamente no meio ambiente, causando problemas ambientais e de saúde pública. No contexto de resíduos, a casca de ovo não se enquadra em resíduos de alta perigosidade, mas o mau cheiro e a proliferação microbiana, sugere a necessidade de utilização dela para atenuação do passivo gerado. A construção civil se apresenta como uma das áreas que podem incorporar o resíduo de casca de ovo, pois suas propriedades são parecidas com a da areia, ao qual possa haver uma substituição parcial dele aplicando-os ao concreto convencional. Uma das vantagens da substituição do resíduo casca de ovo pela areia no concreto convencional inclui propriedades de endurecimento aprimoradas, tempo de presa reduzido, maior resistência à penetração de água e carbonatação e acelerador do processo de hidratação. No entanto, mostra desvantagem no meio ambiente devido o cloreto e o sulfato devido à vulnerabilidade da casca do ovo a esses compostos.

Arif *et al.* (2021) investigou o corpo de prova com melhor porcentagem de resíduo de casca de ovo como substituto do cimento e o seu efeito foram estudados em termos da trabalhabilidade e resistência à compressão. Quatro tipos de proporção de mistura foram preparados com 0%, 5%, 10% e 15%.

Com base nos resultados do experimento, a trabalhabilidade do concreto fresco diminui conforme o aumento da porcentagem de substituição da casca do ovo. A porcentagem com 10% de amostra de casca de ovo atingiu a maior resistência a compressão de 68,4 MPa em 28 dias.

Segundo Hamada *et al.* (2020), os resultados indicam o potencial do uso de resíduo de casca de ovo no concreto, pois melhora as propriedades do concreto e reduz a produção de cimento, minimizando assim a poluição ambiental. A resistência à compressão, flexão e tração também foram investigadas e melhoradas com uso do resíduo da casca de ovo como substituto do cimento.

No entanto, alguns estudos relataram uma redução quando o cimento é substituído por altas porcentagens, particularmente aquelas maiores que 10%. Além disso, o módulo de elasticidade diminui com altos níveis de reposição. A durabilidade e a absorção de água do concreto foram reduzidas com a adição do resíduo da casca de ovo.

Dezfouli (2020) investigou a adição do resíduo de casca de ovo no concreto através de testes experimentais, incluindo porcentagem de absorção de água, teste de resistência elétrica (indicando corrosão e permeabilidade), resistência à flexão, e a resistência à compressão em amostras com 0, 10 e 20% em resíduo de casca de ovo de substituição de cimento. Os testes foram realizados aos 3, 7 e 28 dias de idade e seus resultados dos ensaios mostraram que a substituição de 10% de casca de ovo causou um aumento de 1% na resistência à compressão e a diminuição de 21% na absorção de água em comparação com 0% de resíduo de casca de ovo. A substituição com 20% de casca de ovo ocasionou uma queda de 17% da resistência à compressão e um aumento de 4% na absorção de água em comparação com o concreto com 0% de resíduo de casca de ovo

Yerramala (2014) descreve a pesquisa sobre o uso de resíduos da casca de ovo no concreto substituindo 5 a 15%. Os resultados indicaram que o resíduo da casca do ovo pode ser usado com sucesso como substituto parcial do cimento na produção de concreto. Com relação aos resultados, na substituição de 5%, as resistências foram maiores que o concreto referência e indicam que 5% é um teor ideal para a resistência máxima. Além disso, o desempenho dos concretos foi comparável até a substituição de 10%.

Não encontrando na literatura trabalhos com a substituição do agregado miúdo pelo resíduo da casca de ovo, o presente trabalho tem como principal objetivo investigar a aplicação de resíduos de casca de ovo junto ao concreto convencional, obtendo-se dados de resistência à compressão, como também, propriedades de absorção de água por imersão e massa específica.

2. Metodologia

O material a ser utilizado foi o agregado graúdo classificado como brita 1 e o agregado miúdo areia natural de rio classificada como areia fina com granulometria entre 0,06 mm e 0,2 mm, ambos os materiais provenientes da cidade de Itajubá, Minas Gerais. O cimento utilizado foi o CP-II-E-32 da fabricante Tupi. A casca de ovo foi fornecida pela granja Ovos Santa Ana e demais localidades e utilizada na forma de farelos, propositando uma dimensão semelhante à da areia fina com granulometria 0,06 mm e 0,2 mm. Para a determinação do traço do concreto foi utilizado o método ABCP-ACI.

A determinação da massa específica do agregado miúdo foi realizada segundo os procedimentos da norma NBR NM 52 (2009) e da massa unitária compactada do agregado graúdo foi realizada de acordo com os procedimentos descritos na norma ABNT NBR NM 45 (2006). A determinação da massa específica do cimento Portland foi realizada segundo os procedimentos da norma NM 23 (2000) e do agregado graúdo foi realizada segundo os procedimentos da NBR NM 53 (2009).

A composição granulométrica dos resíduos de casca de ovo também foi determinada para a mera comparação com a composição granulométrica do agregado miúdo, o qual seria substituído.

Assim sendo, a composição granulométrica dos resíduos de casca de ovo não foi uma característica utilizada na determinação do traço do concreto, mas apenas como dado complementar. Para a determinação da composição granulométrica dos agregados (graúdo e miúdo), o procedimento descrito utilizado foi de acordo com a norma NBR NM 248 (2003) e para a determinação da massa específica da casca de ovo, foi realizado segundo os procedimentos da ABNT NBR 9776 (1988).

Realizada a etapa de caracterização dos materiais quanto as características necessárias para o cálculo do traço, procedeu-se ao cálculo pelo método ABCP-ACI. Este método de dosagem experimental é baseado no método desenvolvido pelo American Concrete Institute (ACI) e adaptado pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) às condições brasileiras. Após a caracterização dos agregados e do resíduo, primeiramente estipulou-se a resistência característica do concreto em $F_{ck} = 25$ MPa, e utilizou-se o desvio padrão de 4,0, obtendo-se assim, uma resistência de dosagem $F_{cj} = 32$ Mpa para a resistência média do concreto há compressão aos 28 dias. Utilizando-se a curva de Abrams, estabeleceu-se a relação

água/cimento em 0,50; chegando assim ao consumo de materiais necessários para a produção de 1m^3 de concreto (sem adição de borracha) sendo que a apresentação do traço ficou da seguinte forma: 1; 1,22; 2,39; 0,50. Sendo respectivamente as proporções de cimento; areia; brita e fator água/cimento.

Para a moldagem dos corpos de prova foi utilizado o agregado miúdo proveniente da areia natural classificada como areia fina e para o agregado graúdo utilizou-se a brita 1 com dimensão máxima característica de 19 mm, por ser uma granulometria utilizada nos canteiros de obras da região. Na produção do concreto foi utilizada uma betoneira de eixo inclinado com capacidade de 55 litros e a colocação dos materiais na betoneira seguiu a seguinte ordem: agregado graúdo, água, cimento, areia e casca de ovo.

Baseado na bibliografia revisada foi determinado que os concretos com 3 composições diferentes foram preparados e foram submetidos à compressão axial nas idades de 14 e 28 dias, bem como, aos ensaios para determinação da massa específica, índice de vazios e absorção de água por imersão. Para o cálculo da quantidade de materiais para cada concreto, foi determinado o volume de concreto para um corpo de prova, pela equação do volume de um cilindro.

O primeiro concreto, o concreto de referência, composto pelos elementos tradicionais do concreto que são cimento, água, areia e brita nas proporções correspondentes às do traço calculado. Três concretos foram confeccionados com sua composição de areia alterada, sendo substituída nas proporções de 10%, 20% e 30% em relação ao volume do resíduo de casca de ovo.

Após a execução de cada mistura de concreto realizou-se o ensaio para a determinação da consistência do concreto pelo abatimento do tronco de cone (Slump test), conforme ABNT NBR 16889 (2020). Os valores da tolerância foram identificados segundo a ABNT NBR 7212 (2012). Os concretos foram preparados em duas partes com o uso de betoneira com capacidade para $0,200\text{ m}^3$, sendo a primeira parte para o amontoado de 8 corpos de prova e a segunda parte para 7 corpos de prova. De acordo com a disponibilidade de equipamentos do laboratório, foi selecionado o uso de corpos cilíndricos de diâmetro de 15 cm e altura de 30 cm para a moldagem dos concretos de acordo com a norma ABNT NBR 5738 (2015).

Adotou-se a moldagem de 4 corpos de provas para cada idade dos concretos que seriam comprimidos para o ensaio de resistência a compressão e 3 corpos de provas para cada concreto para os demais ensaios (Massa Específica, Índice de Vazios e Absorção de Água).

Após vinte e quatro horas foram desenformados e armazenados em câmara úmida para processo de cura por 28 dias. Em seguida, os corpos de prova cilíndricos, foram capeados na base e no topo com mistura de enxofre.

Para o ensaio de resistência a compressão foram moldados utilizando os procedimentos da ABNT NBR 5739 (2018) que prescreve uma metodologia, na qual devem ser ensaiados à compressão os corpos de prova cilíndricos de concreto, moldados conforme a ABNT NBR 5738 (2016).

A determinação da absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica dos concretos foram realizados segundo os procedimentos descritos na NBR 9778 (2009). Quatro corpos de prova foram reservados e cortados ao meio em marmoraria, respeitando o limite mínimo de 2500 cm^3 para concretos preparados com agregados de dimensão máxima de até 50 mm, conforme a NBR 9778 (2009).

Estes corpos de prova foram moldados sem o uso de óleo mineral, geralmente utilizado como revestimento nos moldes. Aos 28 dias, as 4 amostras foram secas em estufa à temperatura de 105°C por 72 h. Após esse período, as amostras foram pesadas e os valores registrados foram denominados de massa seca. As amostras foram imersas em água por 72 horas à temperatura de 23°C . Foram mantidas com $1/3$ de seu volume pelo período de 4 h, $2/3$ de seu volume por mais 4 h e completamente imersas nas 64 h restante.

Após esse período, as amostras foram enxutas com pano absorvente, pesadas e os valores registrados foram denominados de massa saturada. Imediatamente após, as amostras foram submetidas à pesagem em balança hidrostática e os

valores registrados foram denominados de massa imersa em água.

Para o ensaio do módulo de elasticidade foram moldados 5 corpos de prova para o traço, utilizando os procedimentos conforme a NBR 6118 (2014) e NBR 8522 (2017). Segundo a ABNT NBR 8522 (2017), o módulo de deformação estático para um material sob compressão axial simples é determinado a partir da declividade da curva tensão-deformação em corpos de prova cilíndricos sob carregamento uniaxial. O corpo de prova é submetido a cargas crescentes e a cada incremento de carga mede-se a deformação correspondente.

3. Resultados e Discussão

Os Quadros 1 e 2 mostram os valores da quantidade de materiais do concreto para 8 e 7 corpos de prova.

Quadro 1. Quantidade de materiais do concreto para 8 corpos de prova.

Componente	Cimento (Kg)	Areia (Kg)	Brita (Kg)	Água (Kg)	Resíduo de Casca de ovo (Kg)
Referência	21,16	25,90	50,33	10,58	-
10%	21,16	23,31	50,33	10,58	2,59
20 %	21,16	20,72	50,33	10,58	5,18
30%	21,16	18,13	50,33	10,58	7,77

Fonte: Autores (2021).

Quadro 2. Quantidade de materiais do concreto para 7 corpos de prova.

Componente	Cimento (kg)	Areia (Kg)	Brita (Kg)	Água (Kg)	Resíduo de Casca de ovo (kg)
Referência	17,02	20,83	40,48	8,51	-
10%	17,02	18,75	40,48	8,51	2,08
20 %	17,02	16,66	40,48	8,51	4,17
30%	17,02	14,58	40,48	8,51	6,25

Fonte: Autores (2021).

Observou-se que o volume total para se confeccionar os corpos de prova de cada concreto seria cerca de 0,080 m³. Esse volume dificultaria o processo de mistura do concreto ao se utilizar a betoneira do laboratório com capacidade de 0,200 m³. Então, definiu-se que o concreto deveria ser feito em 2 partes, sendo a primeira parte para o volume de 8 corpos de prova e a segunda parte para o volume de 7 corpos de prova. O volume de concreto adotado para 8 corpos de prova foi de 0,046 m³ e para 7 corpos de prova 0,037 m³. Usando-se esses valores e multiplicando-os pelos valores de consumo dos materiais por m³ encontrados no cálculo do traço do concreto, encontrou-se os valores dos consumos de materiais para o concreto de referência, 10% , 20% e 30% conforme os Quadros 1 e 2.

O Quadro 3 mostra os valores da composição granulométrica do agregado miúdo.

Quadro 3. Granulometria da areia.

Peneira (mm)	Massa Retida (g)	Massa Retida Acumulada (g)	Porcentagem Retida	Porcentagem Retida Acumulada
4,8	4	1,06	0,3%	0%
2,4	8	5,28	1,2%	1%
1,2	16	15,47	2,8%	4%
0,6	30	78,82	17,4%	22%
0,3	50	220,10	38,9%	61%
0,15	100	339,01	32,7%	93%
Fundo		363,26	6,7%	100%
Total	363,26		100%	0%
Diâmetro Máximo (mm)	1,2			
Módulo de Finura	1,81			
Massa Específica (g/cm ³)	2,48			

Fonte: Autores (2021).

Para o diâmetro máximo (DM), o valor encontrado para a areia é de 2,40 mm, sendo classificados como agregado miúdo, pois seu diâmetro está situado entre 0,075 mm e 4,8 mm. O valor do módulo de finura (MF) para os agregados miúdo foi de 1,81; respectivamente para a areia. Os resultados demonstram que há uma maior quantidade, em porcentagem, ou seja, de massa retida de grãos de agregado miúdo foi de 0,30 mm. O Quadro 4 mostra os valores da composição granulométrica da Brita 1.

Quadro 4. Granulometria da Brita.

Peneira(mm)	Massa Retida (g)	Massa Retida Acumulada (g)	Porcentagem Retida	Porcentagem Retida Acumulada
31,5	0	0	0%	0%
25,0	0	0	0%	0%
19,0	0,02	0,02	0,4%	0,4%
12,5	2,585	2,61	47,0%	47,4%
9,5	1,905	4,51	34,64%	82,04%
4,8	0,945	5,45	17,12%	99,16%
Fundo	0,046	5,50	0,84%	100%
TOTAL	5,501		100%	
Diâmetro Máximo (mm)	19,0			
Módulo de Finura	1,82			
Massa Específica (g/cm ³)	2,80			

Fonte: Autores (2021).

No Quadro 2 observou-se que o diâmetro das partículas está incluído na faixa de brita 1 com diâmetro máximo de 19,00 mm, pois está relacionado a grandeza associada à distribuição granulométrica do agregado, correspondente à abertura de malha quadrada, em mm, à qual corresponde uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5%. O Quadro 3 mostra os valores da composição granulométrica do resíduo de casca de ovo.

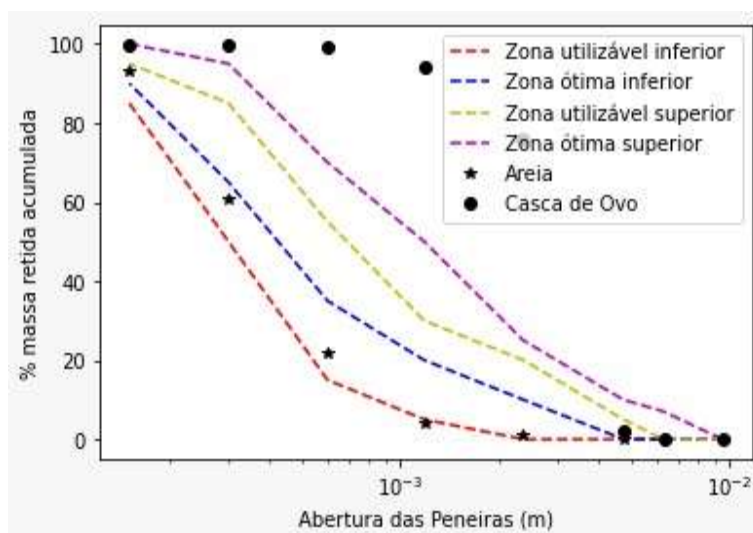
Quadro 3. Granulometria do resíduo da casca do ovo.

Peneira (mm)	Massa Retida (g)	Massa Retida Acumulada (g)	Porcentagem Retida	Porcentagem Retida Acumulada
4,8	7,07	7,07	2,14%	2,14%
2,4	243,73	250,80	73,89%	76,03%
1,2	59,46	310,26	18,03%	94,06%
0,6	16,85	327,11	5,11%	99,16%
0,3	1,60	328,71	0,49%	99,65%
0,15	0,38	329,09	0,12%	99,76%
Fundo	0,77	329,86	0,23%	100%
TOTAL	329,86	7,07	100%	2,14%
Diâmetro Máximo (mm)	4,8			
Módulo de Finura	4,71			
Massa Específica (g/cm ³)	1,23			

Fonte: Autores (2021).

Para o diâmetro máximo (DM), o valor encontrado para o resíduo da casca de ovo é de 4,80 mm, sendo classificados como agregado miúdo, pois seu diâmetro está situado entre 0,075 mm e 4,8 mm. Os valores do módulo de finura (MF), para o resíduo da casca do ovo foi de 4,71. Os resultados demonstram que há uma maior quantidade, em porcentagem, ou seja, de massa retida de grãos de resíduo da casca do ovo na peneira com abertura de 2,4 mm. Observando a granulometria da amostra de areia em relação ao resíduo de casca de ovo pode-se observar que o resíduo de casca de ovo não apresenta uma distribuição granulométrica não similar ao da areia. A Figura 1 mostra as curvas granulométricas da areia e da casca de ovo.

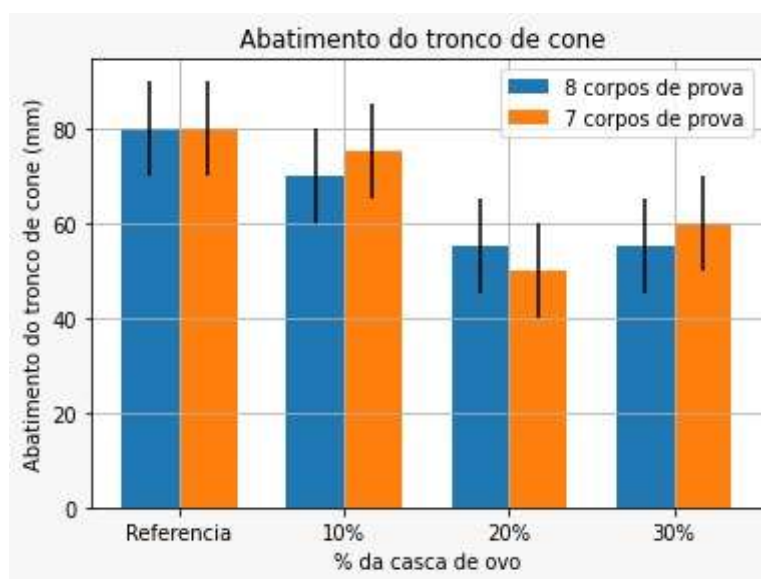
Figura 1. Curvas granulométricas–agregados miúdos.



Fonte: Autores (2021).

As curvas da distribuição granulométrica mostram que a areia é pertencente a faixa da zona utilizável inferior, pois o módulo de finura está incluso na faixa de valores entre 1,55 e 2,20 e o resíduo da casca de ovo está fora da faixa da zona utilizável superior. Comparando os valores da areia com o resíduo de casca de ovo observa-se que não satisfaz a condição de substituição parcial dela quanto ao critério do diâmetro dos grãos. Segundo a NBR 7211 (2009), através da faixa de valores do agregado miúdo, observou-se que o valor do modulo de finura da areia é classificada como areia fina ($1,72 < MF < 2,11$) e o resíduo da casca de ovo é classificado como areia muito grossa ($MF > 2,71$). A Figura 2 mostra os resultados encontrados nos ensaios de consistência do concreto (Slump Test) para o concreto fresco com porcentagens de substituição parcial do volume do agregado miúdo por casca do ovo de 10% a 30%

Figura 2. Slump Test do concreto.



Fonte: Autores (2021).

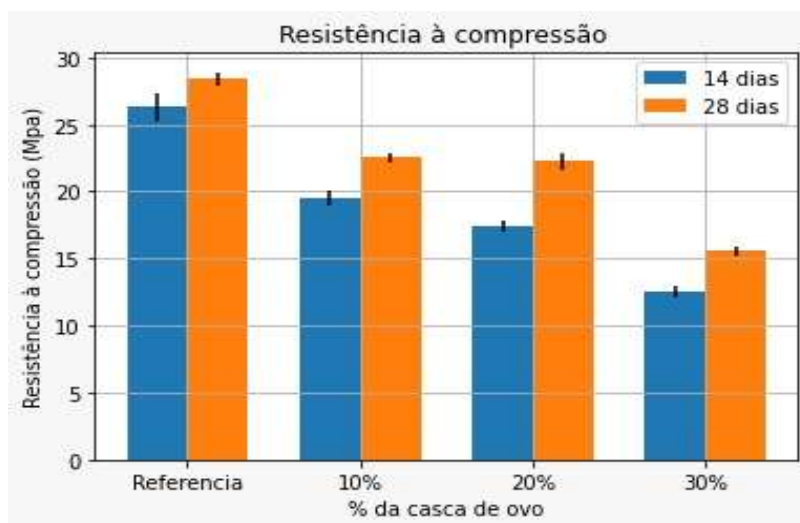
Através dos resultados apresentados para 8 corpos de prova observou-se que houve uma diminuição nos valores da trabalhabilidade de (80 ± 10) mm do concreto referência para (70 ± 10) mm do concreto com 10%. Entretanto, observou-se que não houve alteração na trabalhabilidade do concreto com 20% para o concreto com 30%.

Para 7 corpos de prova houve uma diminuição nos valores da trabalhabilidade de (80 ± 10) mm do concreto referência para (75 ± 10) mm do concreto com 10%. Entretanto, também observou-se que não houve alteração na trabalhabilidade do concreto com 20% para o concreto com 30%. Isso pode ser atribuído à alta absorção de água do resíduo da casca de ovo, que consome a água e restringe a fluidez. A não alteração dos valores da trabalhabilidade do concreto ocorre devido que o tamanho da partícula do resíduo da casca de ovo com uma moagem mais fina, terá uma maior quantidade de água em sua superfície que consequentemente irá absorver mais água e reduzir a trabalhabilidade da mistura de concreto da forma adversa (Arif, *et al.*, 2021). O incremento do percentual de substituição do pó de casca de ovo na mistura de concreto, resulta em menor trabalhabilidade do concreto. A trabalhabilidade do concreto é diretamente afetada pela maior absorção de água da casca de ovo em pó, a substituição da casca de ovo no concreto diminuirá a trabalhabilidade do concreto

Os resultados obtidos foram em comparação com o estudo realizado por Ing e Chin (2014) sobre o resíduo da casca de ovo como substituição da areia. A Figura 3 mostra os valores encontrados para a resistência à compressão axial aos 14 e 28

dias de cura para o concreto.

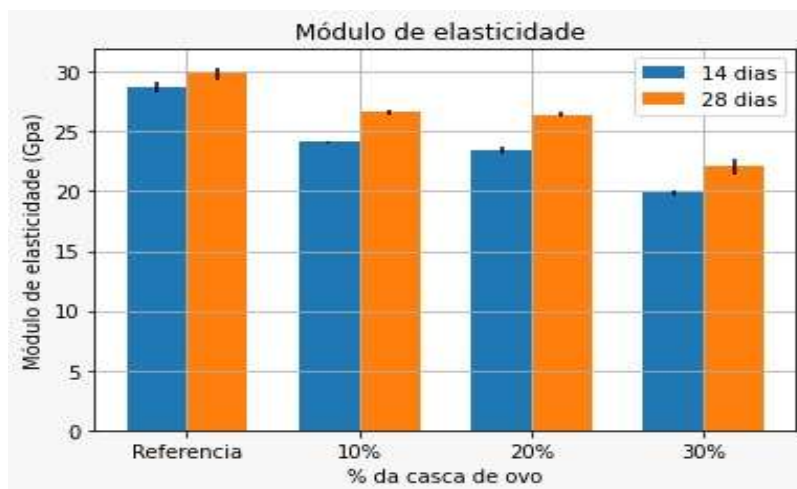
Figura 3. Resistência à compressão axial do concreto (F_{ck}) a 14 e 28 dias.



Fonte: Autores (2021).

Através dos resultados, observou-se que a resistência a compressão diminuiu de $(26,28 \pm 0,99)$ MPa da amostra referência para $(12,58 \pm 0,43)$ MPa da amostra com 30% aos 14 dias e para os 28 dias observou-se que a resistência a compressão também diminuiu de $(28,32 \pm 0,52)$ MPa da amostra referência para $(15,54 \pm 0,37)$ MPa da amostra com 30%. Isso ocorre porque o resíduo da casca de ovo possui como função de preenchimento no concreto e também substitui o calcário. O calcário reage com a alumina do cimento para formar uma fase de hidrato de mono carboaluminato de cálcio e contribui para a mudança de resistência a compressão. Na substituição de calcário, o tamanho dos poros aumenta e, conseqüentemente, a resistência do concreto diminui. Isso se deve ao vínculo das propriedades e da microestrutura do concreto que são bastante reduzidas, portanto, a aderência do cimento e agregados são fracos (Arif, *et al.*, 2021; Ribeiro, Pinto, Barbosa, Oliveira e Mendonça, 2019). De acordo com Beraldo e Nagumo (2004), uma desvantagem da utilização de casca de ovo é que, quanto maior for o valor de porcentagens de casca de ovo no concreto, a resistência do compósito diminuí. Ele investigou que a resistência à compressão aos 28 dias variou de 9 MPa a 23 MPa dependendo da substituição de areia por casca de ovo. A Figura 4 mostra os valores encontrados para o módulo de elasticidade a 14 e 28 dias de cura para o concreto.

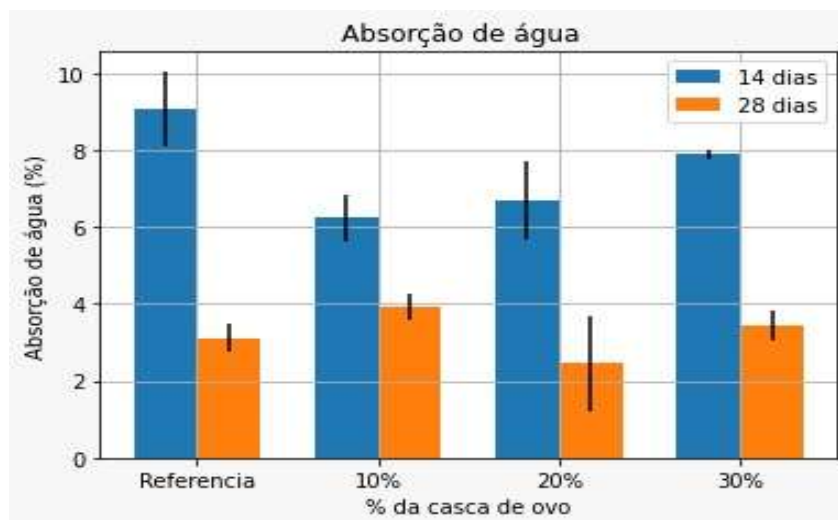
Figura 4. Módulo de elasticidade do concreto a 14 e 28 dias.



Fonte: Autores (2021).

A Figura 5 mostra os valores para a absorção de água por imersão individual do concreto aos 14 dias para o concreto endurecido.

Figura 5. Absorção de água por imersão do concreto a 14 e 28 dias.

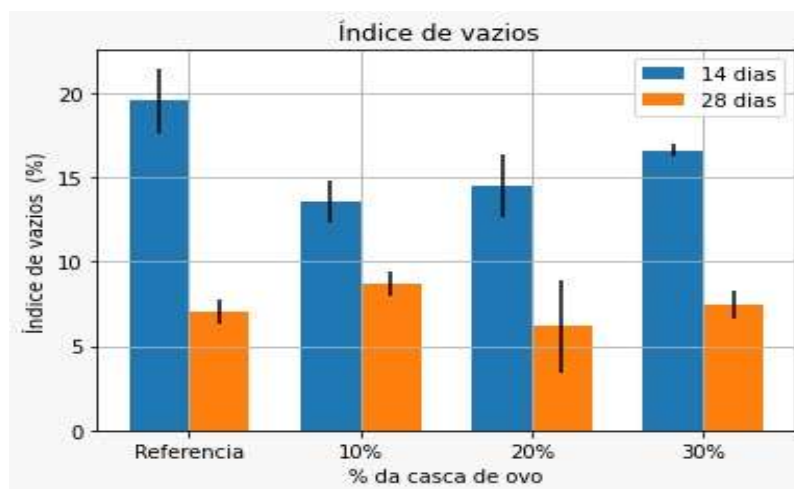


Fonte: Autores (2021).

A absorção de água por imersão de cada amostra diminuiu de $(9,08 \pm 0,97)$ % da amostra referência para $(6,23 \pm 0,61)$ % da amostra com 10%. Entretanto, observou-se um aumento de $(6,23 \pm 0,61)$ % da amostra com 10% para $(7,88 \pm 0,13)$ % da amostra com 30% aos 14 dias.

Também a amostra com 10% para 14 dias e amostra com 20% para 28 dias apresentaram valores de absorção de água mais baixos do que a amostra referência. Isso ocorre porque o enchimento dos resíduos da casca do ovo na abertura dos poros das amostras, conseqüentemente diminui sua porosidade (Holanda, Amaral e Destefani, 2013). A Figura 6 mostra os valores calculados para o índice de vazios das amostras aos 14 dias para o concreto endurecido.

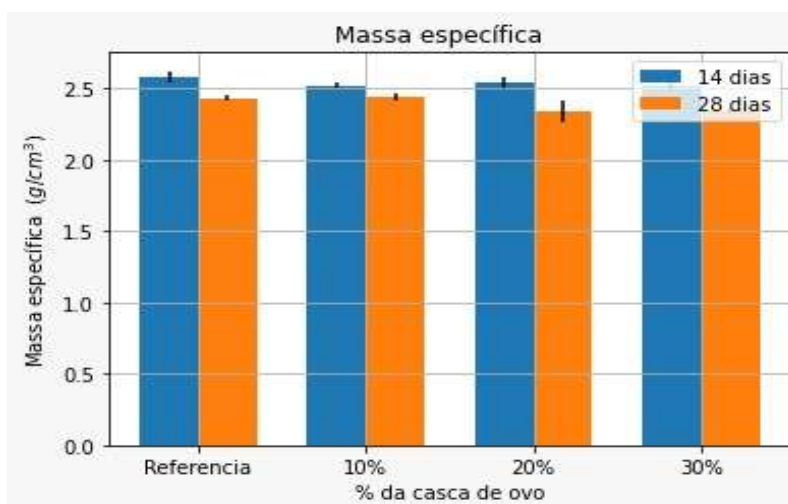
Figura 6. Índice de vazios do concreto a 14 e 28 dias.



Fonte: Autores (2021).

Os valores do índice de vazios diminuíram de (19,52±1,94) % da amostra referência para (13,57±1,25) % da amostra com 10%. Entretanto, houve um aumento de (13,57±1,25) % da amostra com 10% para (16,58±0,37) % para a amostra com 30%. O aumento dos valores do índice de vazios também pode estar relacionado a outro fator, como o aumento do teor de ar aprisionado, pois quanto maior o teor de ar aprisionado maior a porosidade e menor a sua resistência (Freitas, Carlos, Franke, Joukoski e Filho, 2009). A Figura 7 mostra os valores calculados para a massa específica das amostras aos 14 e 28 dias para o concreto endurecido.

Figura 7. Massa Específica do concreto a 14 e 28 dias.



Fonte: Autores (2021).

Através dos resultados observou-se que houve pequena variação nos valores da massa específica para as idades de 14 e 28 dias. Nesse estado foi analisada a massa específica do concreto, uma vez que, de acordo com a ABNT NBR 12655 (2015), o concreto se classifica como normal por ter massa específica compreendida entre 2.000 kg/m³ e 2.800 kg/m³. A redução da massa específica apesar de pequena era esperada e se justifica que o resíduo de casca de ovo possui menor massa específica do que os agregados naturais (Silva e Brito, 2019). Segundo Silva, *et al.* (2020), a massa específica do resíduo é em geral é 70%

menor do que a massa específica do agregado natural.

Sabe-se que na maior das incorporações de casca de ovo é feita em forma de resíduo e em substituição do cimento Portland. Nestes casos, em até uma determinada porcentagem de substituição pode ocorrer uma perda de resistência mecânica e perda de densidade (Chong, Othman, Ramadhansyah, Doh e Li, 2020).

Para este estudo, a diminuição da massa específica pode ser entendida com base na granulometria do resíduo de casca de ovo utilizada que acarretou um melhor empacotamento das partículas de modo que não alterou significativamente a massa específica (Chong, Othman, Ramadhansyah, Doh e Li, 2020).

4. Conclusão

Através dos resultados apresentados observa-se que para 8 corpos de prova houve uma diminuição nos valores da trabalhabilidade do concreto referência do concreto com 10%. Entretanto, observa-se que não houve alteração na trabalhabilidade do concreto com 20% para o concreto com 30%. Para 7 corpos de prova observa-se que houve uma diminuição nos valores da trabalhabilidade do concreto referência para do concreto com 10%. Entretanto, também não houve alteração na trabalhabilidade do concreto com 20% para o concreto com 30%.

Através dos resultados, a resistência a compressão diminuiu da amostra referência para a amostra com 30% aos 14 dias e para os 28 dias para o concreto observa-se que a resistência a compressão também diminuiu da amostra referência para a amostra com 30%.

O valor do módulo de elasticidade diminuiu da amostra referência para a amostra com 30% para 14 dias e para os 28 dias observa-se que o valor do módulo de elasticidade também diminuiu da amostra referência para a amostra com 30%.

A absorção de água por imersão de cada amostra diminuiu da amostra referência para a amostra com 10%. Entretanto, observa-se um aumento da amostra com 10% a amostra com 30% aos 14 dias.

Os valores calculados para o índice de vazios das amostras aos 14 dias para o concreto endurecido diminuem da amostra referência para a amostra com 10%. Entretanto, houve um aumento da amostra com 10% para a amostra com 30%.

Através dos resultados observa-se que não houve alteração significativa nos valores da massa específica para as idades de 14 e 28 dias. Para as principais sugestões de trabalhos futuros, a investigação da microestrutura do concreto com resíduo da casca de ovo relacioná-la com suas propriedades físicas e mecânicas, uso da Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIE) para monitoramento da corrosão em concreto armado e investigação estrutural através de difração de raio x. O concreto pode ser obtido na fabricação de produtos como blocos e pisos.

Referências

- ABNT NBR 5739. (2018). *"Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos"*. Rio de Janeiro.
- ABNT NBR 7212. (2012). *"Execução de concreto dosado em central"*. Rio de Janeiro.
- ABNT NBR 8522. (2017). *"Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão"*. Rio de Janeiro.
- ABNT NBR 9776. (1988). *Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco chapman - Método de ensaio*. Rio de Janeiro.
- Ing, D. S., & Chin, S. C. (2014). Eggshell Powder: Potential Filler in Concrete. *MUCET 2014*.
- NBR 6118. (2014). *"Projeto de estruturas de concreto — Procedimento"*. Rio de Janeiro.
- NBR 9778. (2009). *"Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica"*. Rio de Janeiro.
- NBR NM 248. (2003). *"Agregados - Determinação da composição granulométrica"*. Rio de Janeiro.

- NBR NM 52. (2009). "Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente". Rio de Janeiro.
- NBR NM 53. (2009). "Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água". Rio de Janeiro.
- 7211, A. N. (2009). *Agregados para concreto - Especificação*. Rio de Janeiro.
- ABNT NBR 12655. (2015). *Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento - Procedimento*. Rio de Janeiro.
- ABNT NBR 16889. (2020). "Ensaio de Abatimento do Concreto (Slump Teste)". Rio de Janeiro.
- ABNT NBR 5738. (2016). "Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova". Rio de Janeiro.
- Arif, S. M., Rokiah, O., Khairunisa, M., Chong, B. W., Chek, Y. C., Youventharan, D., . . . Doh, S. I. (2021). Compressive Strength of Concrete containing Eggshell Powder as Partial Cement Replacement. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 682, p. 012031. doi:10.1088/1755-1315/682/1/012031
- Beraldo, A. L., & Nagumo, C. H. (2004). *Compósito de casca de ovo e argamassa de cimento Portland*. ICTR 2004 – Congresso Brasileiro De Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável.
- Chong, B. W., Othman, R., Ramadhansyah, P. J., Doh, S. I., & Li, X. (2020). Properties of concrete with eggshell powder: A review. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 120.
- Dezfouli, A. A. (2020). Eggshell Powder Application on the Early and Hardened Properties of Concrete. *Journal of Civil Engineering and Materials Application*, 4(4), pp. 209-221. doi:10.22034/JCEMA.2020.241853.1036
- Freire, M. N., & Holanda, J. N. (2016). Characterization of avian eggshell waste aiming its use in a ceramic wall tile paste. *Cerâmica*, 52, pp. 240-244. doi:10.1590/S0366-69132006000400004
- Freitas, C., Carlos, J., Franke, K., Joukoski, A., & Filho, C. V. (2009). Desempenho físico-químico e mecânico de concreto de cimento Portland com borracha de estireno-butadieno reciclada de pneus. *Quím. Nova*, v. 32, pp. 913-918.
- Hamada, H., Tayeh, B., Al-Attar, A., Yahaya, F. M., Muthusamy, K., & Humada, A. M. (2020). The present state of the use of eggshell powder in concrete: A review. *Journal of Building Engineering*, 32, p. 101583. doi:10.1016/j.job.2020.101583
- Holanda, J., Amaral, M. C., & Destefani, A. (2013). Soil–cement bricks incorporated with eggshell waste. *Waste and Resource Management*, 166(3), 137-141. doi:10.1680/warm.12.00024
- Ribeiro, V. A., Pinto, C. R., Barbosa, L. F., Oliveira, A. F., & Mendonça, C. S. (2019). Physical and mechanical properties of the conventional concrete with porcelain insulator. *Revista Científica Universitas*, 6(1), pp. 1-14.
- Ribeiro, V. A., Werdine, D., Barbosa, L. F., Oliveira, A. F., & Santana, L. P. (2021). Investigação das propriedades do concreto convencional com adição de resíduos de pneu e metacaulim. *Research, Society and Development*, 10(5), e2410514463.
- Silva, L. R., Silva, J. A., Francisco, M. B., Ribeiro, V. A., Souza, M. H., Capelatto, P., Mello, M. L. (2020). Polymeric Waste from Recycling Refrigerators as an Aggregate for Self-Compacting Concrete. *Sustainability*, v. 20, p. 8731.
- Silva, P. R., & Brito, J. (2019). Self-compacting concrete with recycled aggregates - A literature review. *Journal of Building Engineering*, 22, 349-371.
- Yerramala, A. (2014). Properties of concrete with eggshell powder as cement replacement. *Indian Concrete Journal*, 88, pp. 94-105.