

ESTUDO SOBRE A INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS (RRO) E CERÂMICA (RC), PROVENIENTES DA CIDADE DE TEIXEIRA DE FREITAS – BA, NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

DIOGO WAGAMCKER NASCIMENTO

Mestre em construção civil (UFES), professor da Faculdade Do Sul da Bahia (FASB)

FABRICIO LIMA BARBOSA

Mestre em Estruturas (UENF), professor da Faculdade Do Sul da Bahia (FASB)

LUANA ROCHA FREITAS DE ARAÚJO

Aluna do curso de engenharia civil (FASB)

LEONARDO CRISTIAN RIBEIRO DANTAS

Aluno do curso de engenharia civil (FASB)

Recebido e aprovado em junho de 2022



Artigo publicado em acesso aberto (*Open Access*) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Resumo:

No Brasil, o concreto é um dos materiais mais utilizados na construção civil, e por isso é também um dos mais importantes. Entretanto, sua utilização gera diversos impactos ambientais, tornando necessária a busca por alternativas mais sustentáveis. Uma dessas alternativas é a incorporação de resíduos cerâmico e de rochas ornamentais em concretos, estudados neste trabalho. A presente pesquisa teve, portanto, como principal finalidade, estudar o aproveitamento dos resíduos cerâmico e de rochas ornamentais, em pó, e os seus efeitos, ao serem incorporados no concreto. Logo, foram estudados concretos com relações $a/c = 0,45$ e $0,55$, com adições de 10 e 20% dos resíduos em relação à massa de cimento, comparados com um traço referência, sem adições. Os concretos fabricados passaram pelo teste *slump* para verificação de suas consistências no estado fresco. Com relação às propriedades mecânicas, foi realizado o ensaio de resistência à compressão axial, além da verificação da durabilidade por meio do ensaio de absorção de água por capilaridade, na idade de 28 dias. Por meio dos resultados, verificou-se que, no estado fresco, houve uma queda da consistência à medida que o teor de adições aumentava. No estado endurecido foi observado que os concretos com adições de resíduo apresentaram perda de resistência à compressão na idade avaliada, porém, uma redução na absorção de água por capilaridade.

Palavras-chave: Sustentabilidade. Concreto. Resíduo cerâmico. Resíduo de rochas ornamentais.

Abstract:

In Brazil, concrete is one of the most used materials in civil construction, and therefore it is also one of the most important. However, its use generates several environmental impacts, making it necessary to search for more sustainable alternatives. One of these alternatives is the incorporation of ceramic waste and ornamental rocks in concrete, studied in this work. The present research had, therefore, as main purpose, to study the use of ceramic residues and ornamental rocks, in powder, and their effects, when they are incorporated in the concrete. Therefore, concretes with w/c ratios = 0.45 and 0.55 were studied, with additions of 10 and 20% of the residues in relation to the cement mass, compared with a reference mix, without additions. The manufactured concretes passed the slump test to verify their consistency in the fresh state. Regarding the mechanical properties, the axial compression strength test was carried out, in addition to the verification of durability through the capillary water absorption test, at the age of 28 days. Through the results, it was found that, in the fresh state, there was a drop in consistency as the content of additions increased. In the hardened state, it was observed that the concretes with additions of residue showed a loss of compressive strength at the evaluated age, however, a reduction in the absorption of water by capillarity.

Keywords: Sustainability. Concrete. Ceramic residue. Ornamental rock residue.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui um território vasto e com grande diversidade de recursos naturais, Características que chamam a atenção de *players* ligados ao setor de mineração devido às facilidades inerentes aos momentos de extração, beneficiamento e comercialização destes recursos. Dentre as diversas matérias-primas extraídas, algumas das que se destacam comercialmente são o mármore e o granito, utilizados na indústria da construção civil como rochas ornamentais, e a argila que por meio da queima são obtidos tijolos, blocos, telhas, lajotas, placas de revestimento e etc.

Nota-se que a indústria da construção civil é uma voraz consumidora de recursos naturais, em todos os seus seguimentos, segundo a ABIROCHAS (2021), de janeiro a julho de 2021, foram extraídas mais de 1,36 milhões de toneladas de rochas ornamentais e de acordo com o Ministério de Minas e Energia (2021), para 2030, estima-se um consumo de argila variando de 5,2 a 8,2 bilhões de toneladas.

As matérias-primas para construção civil, constituem o grupo mineral que mais é extraído em volume. O setor de construção é de longe o setor industrial que mais consome recursos minerais em grande quantidade. (LINS, 2005).

Além do grande consumo de recursos naturais realizado pela indústria, seu crescimento, evidente desde o período chamado de “Milagre Econômico” no início dos anos 70, no Brasil, trouxe consigo o incremento na geração de resíduos oriundos dos processos de produção, o que chamou a atenção de diversos setores da sociedade à disposição final destes resíduos, visto que sua disposição não está submetida a uma rígida fiscalização regida pelos princípios básicos da preservação ambiental (FIGUEIREDO, 2018).

É evidente que o setor industrial responsável pelo desenvolvimento de materiais de construção civil obteve crescimento exponencial durante esse período de evolução do Brasil, o que provocou um aumento na geração de resíduos provenientes do processo de beneficiamento de sua matéria-prima. De acordo com o Ministério de Minas e Energia (2021), a estimativa de perda no processo de beneficiamento da cerâmica vermelha é cerca de 10% da massa total de argila beneficiada. Já na indústria de rochas ornamentais, existe uma perda média na faixa de 65 a 75% do material desde a extração até o polimento.

Visto a necessidade de destinação adequada dos resíduos provenientes das indústrias de rochas ornamentais e cerâmica da Cidade de Teixeira de Freitas - BA, decidiu-se estudar, por meio de uma pesquisa experimental, com dados quantitativos, a viabilidade da sua utilização na composição do concreto de cimento Portland, tendo como foco avaliar as propriedades no estado fresco e endurecido. Os resultados obtidos mostraram que a adição dos resíduos afeta de forma significativa a resistência à compressão dos concretos, porém a absorção de água por capilaridade é reduzida, indicando uma melhora relacionada aos aspectos de durabilidade.

2 MATERIAIS E PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1 Agregados e aglomerante

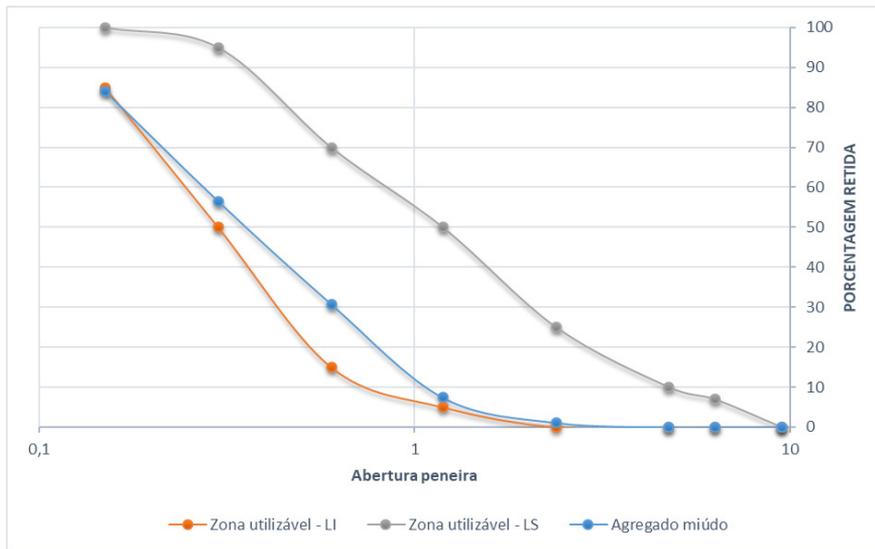
Os agregados miúdo (areia), graúdo (brita) e o cimento Portland, foram adquiridos na região de Teixeira de Freitas – BA. Os ensaios de caracterização destes materiais foram realizados no Laboratório de Engenharias I da Faculdade do Sul da Bahia (FASB), utilizando como referência normas brasileiras. A caracterização do agregado miúdo pode ser observada na Tabela 1.

Tabela 1: Propriedades físicas do agregado miúdo

Propriedades	Normas	Resultados
Módulo de finura	NBR NM 248 (ABNT, 2003)	2,79
Dimensão máxima característica (mm)	NBR NM 248 (ABNT, 2003)	2,36

Fonte: Dados primários da pesquisa

Gráfico 1: Distribuição granulométrica do agregado miúdo



Fonte: Dados primários da pesquisa

A brita 1, utilizada para confecção dos concretos é oriunda de britagem e atende os requisitos recomendados pela NBR 7211 (2009). Antes de ser utilizado, este material passou por limpeza sendo lavado em Betoneira e posteriormente caracterizado. Suas características estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Propriedades físicas do agregado graúdo

Propriedades	Normas	Resultados
Módulo de finura	NBR NM 248 (ABNT, 2003)	6,57
Dimensão máxima características (mm)	NBR NM 248 (ABNT, 2003)	19

Fonte: Dados primários da pesquisa

A água utilizada foi obtida dos reservatórios da FASB e o Cimento utilizado para confecção dos concretos foi o Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CPV – ARI), sua escolha foi devido à baixa concentração de adições minerais com o objetivo de obter controle sobre os efeitos dos resíduos utilizados na pesquisa, sendo que em sua composição há de 95 a 100% de clínquer.

2.2 Obtenção dos resíduos

Os resíduos utilizados nesta pesquisa foram coletados no município de Teixeira de Freitas, localizada no extremo sul da bahia. O resíduo de rochas ornamentais (RRO) foi disponibilizado pela empresa CIMA-GRAN, enquanto que o resíduo cerâmico (RC) foi captado na empresa Cerâmica Ferrari. Foi utilizado a ABNT NBR 10.007 (2004) como base para a coleta dos resíduos. A figura 1 apresenta a disposição dos resíduos no momento da coleta.

Figura 1 – a) Resíduo de Rochas Ornamentais (RRO) coletados na empresa Cimagran. b) Resíduo Cerâmico (RC) coletado na empresa Cerâmica Ferrari.



Fonte: Dados primários da pesquisa

No momento da coleta levou-se em consideração o tipo de amostra a ser coletada, o local de amostragem, o tipo de amostrador, o frasco de coleta, o volume da amostra e o transporte da amostra. Pode-se observar na Tabela 3, o resumo do plano de amostragem.

Tabela 3: Plano de amostragem dos resíduos

PLANO DE AMOSTRAGEM	
TIPO DE AMOSTRA	AMOSTRA COMPOSTA
LOCAL DE AMOSTRAGEM	CIMAGRAN; CERÂMICA FERRARI
TIPO DE AMOSTRADOR	PÁ
FRASCO DE COLETA	SACO POLIPROPILENO (30L)
VOLUME DA AMOSTRA	30L

Fonte: Dados primários da pesquisa

Após a coleta, o resíduo foi transportado até o Laboratório de Ensaios de Materiais de Construção da Faculdade do Sul da Bahia (FASB). Para que os resíduos pudessem ser utilizados em concreto, passaram pelas seguintes etapas: secagem ao ar por 48h, destorroamento, peneiramento em peneira de 4,76 mm e quarteamento.

2.3 Dosagem e produção dos concretos

Para a realização do procedimento experimental foram utilizados: cimento Portland CP V – ARI, que é o cimento disponível no mercado com menor quantidade de adições, propiciando uma melhor análise da influência da adição do RBMF nas propriedades do concreto de cimento Portland; como agregado miúdo utilizou-se areia branca extraída de jazida, com dimensão máxima característica (DMC) de 2,36 mm, com distribuição granulométrica entre zonas utilizáveis inferior e superior; como agregado graúdo foi utilizado brita nº 1, obtida por processo de britagem de rochas graníticas, com DMC de 19 mm; e resíduos do beneficiamento de rochas ornamentais (RRO) e cerâmica (RC) provenientes de empresas localizadas em Teixeira de Freitas – BA. Os resíduos foram utilizados como adição nas porcentagens de 0, 10 e 20% em relação a massa do cimento. A dosagem dos concretos foi realizada baseando-se no método IPT/ EPUSP de Helene e Terzian, (1992). As relações água/cimento utilizadas foram de 0,45 e 0,55. Os corpos de prova foram curados submersos em água saturada com cal, sendo então ensaiados na idade de 28 dias. Os traços utilizados podem ser vistos na tabela 4.

Tabela 4: Traço unitário dos concretos e consumo de cimento

Concreto	Relação água/cimento	Cimento	Resíduo	Areia	Brita	Consumo de cimento (kg/m ³)
REF	0,45	1	0	1,55	2,45	449,88
RC AD10		1	0,10	1,55	2,45	445,83
RC AD20		1	0,20	1,55	2,45	443,83
RRO AD10		1	0,10	1,55	2,45	445,83
RRO AD20		1	0,20	1,55	2,45	443,72
REF	0,55	1	0	2,48	3,36	309,30
RC AD10		1	0,10	2,48	3,36	307,30
RC AD20		1	0,20	2,48	3,36	305,38
RRO AD10		1	0,10	2,48	3,36	307,30
RRO AD20				0,20	2,48	3,36

Fonte: Dados primários da pesquisa

2.4 Ensaio do concreto no estado fresco

Logo após a confecção dos concretos foram analisadas suas consistências, conforme a NBR NM 67 (1998). Por meio deste ensaio pode-se analisar parâmetros relacionados à trabalhabilidade do concreto, Para a análise da consistência deve-se colocar uma massa de concreto fresco dentro de uma forma tronco-cônica, distribuindo em três camadas que devem ser igualmente adensadas com 25 golpes, utilizando o adensador manual, o molde deve ser retirado lentamente e medido a diferença de altura entre a massa de concreto adensada e a forma tronco-cônica (Figura 2).

Figura 2: Ensaio de consistência do concreto - slump test.



Fonte: Dados primários da pesquisa

2.5 Ensaios do concreto no estado Endurecido

Os ensaios realizados no estado endurecido foram os de resistência à compressão axial e Absorção de água por capilaridade.

O ensaio de resistência à compressão axial foi realizado conforme instruções da norma NBR 5739 (2007), Com auxílio da prensa PAVITEST do Laboratório de Engenharias I. Foram elaborados 8 misturas diferentes, para cada mistura foram moldados 6 corpos de prova, totalizando 48 amostras para serem ensaiadas aos 28 dias de idade.

O ensaio de Absorção de água por capilaridade foi desenvolvido com o intuito de permitir a análise de propriedades do concreto relacionadas à sua durabilidade, visto que, segundo Mehta e Monteiro (2008), a água, por possuir pequenas moléculas com capacidade de penetrar poros dos concretos, se torna uma via para agentes agressivos adentrarem camadas internas das estruturas de concreto, reagindo quimicamente com seus compostos provenientes do processo de hidratação e assim, causando a deterioração do material. Este ensaio possui recomendações de execução ditas pela NBR 9779 (2012), onde, em um primeiro momento, os corpos de prova são postos em estufa a uma temperatura de 100 °C e deixados por 24h. Em um segundo momento, os concretos são retirados da estufa, pesados e postos em contato com água para sua absorção, posteriormente são pesados e medidas as suas absorções de água em um período de 72h. (Figura 3).

Figura 3: Ensaio de absorção de água por capilaridade



Fonte: Dados primários da pesquisa

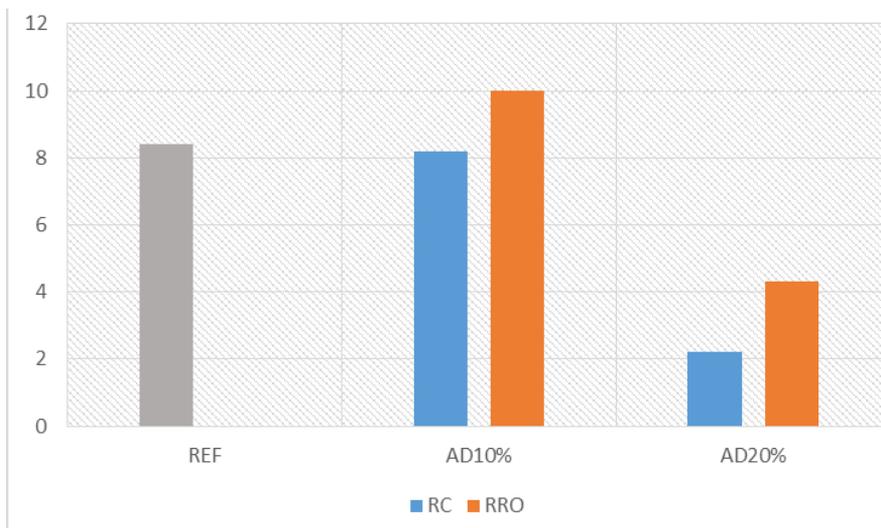
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Resultado dos ensaios nos concretos

3.1.1 Abatimento do concreto

As propriedades do concreto no estado fresco foram avaliadas através do ensaio de abatimento pelo tronco de cone, no qual foi realizado segundo os procedimentos da norma NBR NM 67, (1998). O abatimento especificado, 10 ± 2 cm, foi atingido pelo concreto referência. No gráfico 2 é possível verificar o comportamento dos concretos produzidos em função de seu abatimento e do percentual de adição dos resíduos.

Gráfico 2: Influência do percentual de adição dos resíduos RRO e RC sobre a consistência dos concreto



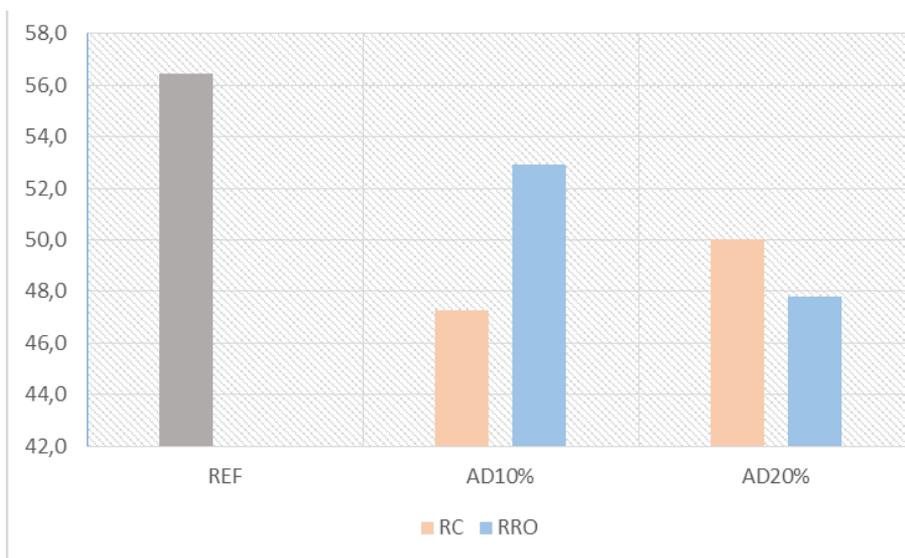
Fonte: Dados primários da pesquisa

De acordo com o Gráfico 2, pode-se observar que houve perda significativa no abatimento dos concretos com adição de 20% de RRO e RC. Este comportamento era esperado tendo em vista a elevada superfície específica dos resíduos incorporados na massa de concreto como adição mineral. Quanto maior o percentual de adição ocorre uma maior demanda de água para manter a consistência do concreto fresco. Portanto, é comum a diminuição da fluidez do concreto à medida que crescem os teores de adição de resíduo (Mehta e Monteiro, 2008).

3.1.2 Resistência mecânica dos concretos

A resistência à compressão axial dos concretos foram medidas com o intuito de verificar os efeitos das adições dos resíduos em sua composição, no estado endurecido aos 28 dias e em misturas com relação a/c distintas (0,45 e 0,55). Os resultados obtidos de resistência, para os concretos com relação a/c = 0,45 podem ser analisados por meio do Gráfico 3.

Gráfico 3: Resistência à compressão axial média dos concretos a/c = 0,45 aos 28 dias



Fonte: Dados primários da pesquisa

Para todos os traços obtidos com adição dos resíduos RRO e RC, pode-se observar a tendência de redução da resistência à compressão axial. Apesar de não ocorrer aumento com relação ao concreto sem adição de resíduo, nota-se que a resistência nos concretos com adição de 20% pouco se diferem das resistências obtidas nas adições de 10%. É evidente, também, a tendência de melhor desempenho mecânico para os concretos com adição de RRO, quando comparados com os concretos com adição de RC. A tabela 5 apresenta os decrementos sofridos de resistência dos concretos com adição e a/c = 0,45, em relação à referência.

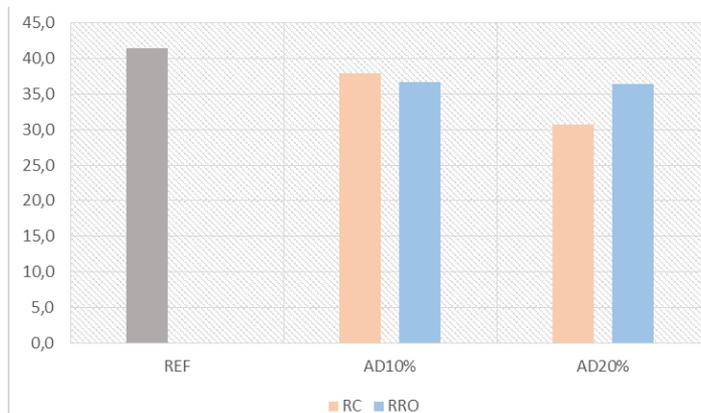
Tabela 5: Decremento de resistência à compressão axial média a/c = 0,45 aos 28 dias

CONCRETO		RESISTÊNCIA MÉDIA À COMPRESSÃO AXIAL (MPa)	DECREMENTO NA RESISTÊNCIA AXIAL (%)
a/c = 0,45	Ref.	56,5	-
	RC AD10%	47,3	- 16,28
	RC AD20%	50,0	- 11,50
	RRO AD10%	52,9	- 6,35
	RRO AD20%	47,8	- 15,39

Fonte: Dados primários da pesquisa

Nota-se que a diferença percentual com relação à referência é menor para o concreto com adição de RRO em 10%, o que foi observado por Dietrich (2008), que a adição de 10% de resíduo de mármore e granito na mistura dos concretos em seu trabalho apresentou melhor desempenho na resistência à compressão axial dos concretos. Pode-se observar o mesmo comportamento nos concretos com relação a/c = 0,55 apresentados no gráfico 4.

Gráfico 4: Resistência à compressão axial média dos concretos a/c = 0,55 aos 28 dias



Fonte: Dados primários da pesquisa

A análise com relação ao decréscimo de resistência dos concretos estudados com relação ao referência pode ser realizada com base nos dados apresentados na Tabela 6.

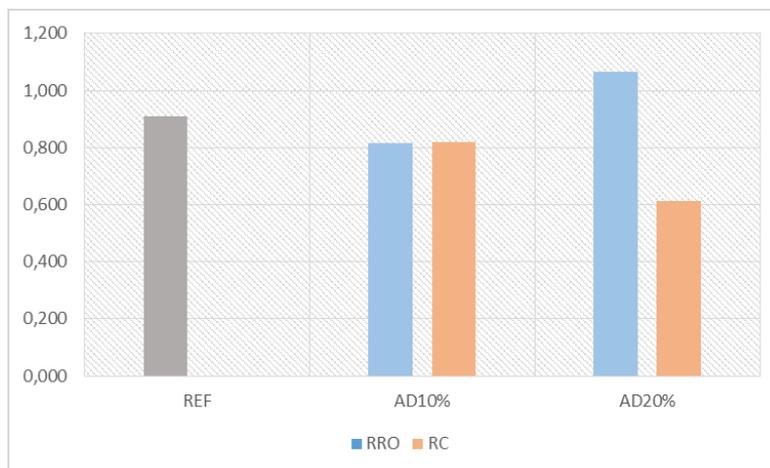
Tabela 6: Decremento de resistência à compressão axial média a/c = 0,55 aos 28 dias

CONCRETO	RESISTÊNCIA MÉDIA À COMPRESSÃO AXIAL (MPa)	DECREMTO NA RESISTÊNCIA AXIAL (%)
a/c =0,55	Ref.	41,5
	RC AD10%	37,9
	RC AD20%	30,8
	RRO AD10%	36,7
	RRO AD20%	36,4

Fonte: Dados primários da pesquisa

A redução de resistência evidente entre concretos com 10 e 20% de adição de resíduo, também foi percebida por franco *et al.* (2014), que adicionou resíduo pulverulento de minério de ferro na composição de concretos e menciona que a dificuldade no momento de adensamento do concreto, com níveis mais altos de adição, pode contribuir com o surgimento de vazios que influenciam diretamente na resistência do concreto e em sua durabilidade. Com relação à durabilidade dos concretos produzidos neste trabalho, nota-se um maior percentual de absorção de água no concreto com 20% de adição do RRO, deixando evidente o efeito causado em concretos com maiores níveis de adições minerais.

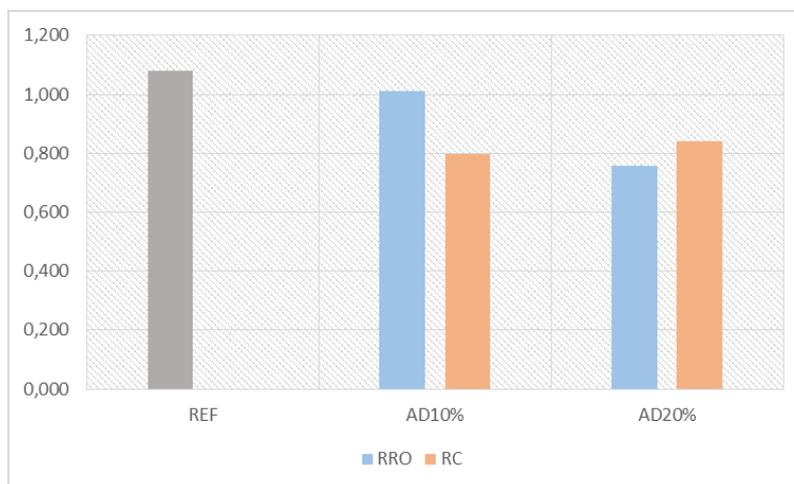
Gráfico 5: Absorção de água por capilaridade a/c = 0,45 aos 28 dias



Fonte: Dados primários da pesquisa

Mehta e Monteiro (2008), afirmam que com o processo de hidratação do cimento, é natural a redução de tamanho dos poros, fazendo com que no concreto ocorra incremento de resistência com o passar do tempo. Como consequência da redução da porosidade do concreto ocorre, também, a diminuição de absorção de água. A influência do resíduo é evidente nos resultados apresentados para os concretos com adições de minerais, que mostraram redução na absorção de água com relação às suas respectivas referências, como pode ser observado nos gráficos 5 e 6.

Gráfico 6: Absorção de água por capilaridade
a/c = 0,55 aos 28 dias



Fonte: Dados primários da pesquisa

4 CONCLUSÃO

Tratando-se de concreto no estado fresco, as misturas de concretos com adição de RRO e RC apresentaram maior coesão e uma diminuição da exsudação, observou-se a redução do abatimento dos mesmos de acordo com o teor de adição dos resíduos.

Quanto à resistência à compressão axial, as adições dos resíduos cerâmico e de rochas ornamentais à composição dos concretos, apresentaram desempenho abaixo da referência, evidenciando que as adições afetam a principal característica do concreto que é a resistência à compressão axial.

O efeitos das adições minerais com relação aos aspectos relacionados a absorção e água foram de maneira geral benéficos, apresentando resultados que indicam a possibilidade de maior durabilidade para concretos produzidos com adição de RRO e RC.

5 ESTUDOS FUTUROS

Em pesquisas futuras, pode-se considerar a análise de viabilidade da utilização de concretos com adição de RRO e RC para produção de blocos de concreto sem função estrutural, visto que a adição dos resíduos proporcionou redução da principal característica de estruturas de concreto que é a resistência à compressão axial.

6 REFERÊNCIAS

- ABNT **NBR 10.007**: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.
- _____. **NBR 16889**: Concreto — Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 2020.
- _____. **NBR 16697**: Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.
- _____. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
- _____. **NBR 9833**: Concreto fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro, 2009.
- _____. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.
- _____. **NBR 9779**: Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 2012.
- _____. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
- _____. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

BRASIL. Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, n.147,03. ago.2010, Seção1, p. 37. 2010. Disponível em: < <https://www.jusbrasil.com.br/diarios/7190464/pg-1-secao1-diario-oficial-da-uniao-doua-de-03-08-2010/pdfView>>. Acesso em: 02 jun. 2017.

CAMPOS A. R; CASTRO N. F. Tratamento e aproveitamento de Resíduos de rochas ornamentais. **Anais... XXII ENTMME/ VII MSHMT** - Ouro Preto. Mg, novembro, 2007.

DIETRICH, Y. P. **Durabilidade de concretos produzidos com adição de resíduos provenientes de rochas ornamentais frente à ação de íons cloreto**. 2015. 181f. Dissertation (Master in Civil Engineering) - Graduate Program of Civil Engineering, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2015.

FIGUEIREDO F. F. Agenda político ambiental do Brasil. **Revista espaço acadêmico**, n. 205. Junho. 2018.

FRANCO L. C; SANTOS D. H; ROSA P. P; SILVA G. J; PEIXOTO R. F. Aplicação de rejeito de mineração como agregado para a produção de concreto. **Anais... 56º Congresso Brasileiro do Concreto**. Natal. Rio Grande do Norte. 2014, 15 p.

GONÇALVES J. P. **Utilização do resíduo de corte de granito como adição para a produção de concretos**. (Dissertação mestrado em engenharia civil). UFRGS. Porto Alegre. 2000.

HELENE, P.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. Pini; Brasília, DF.SENAI, 1992.

LINS, F. A. F. Panorama da Produção e Consumo de Rochas e Minerais Industriais no Brasil. In: CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL; Ministério da Ciência e Tecnologia (Coord.). **Rochas e minerais industriais: usos e especificações**. Rio de Janeiro: CETEM, 2005. p. 11-29.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 3 ed. São Paulo: PINI, 2008.

MME. **Análise-síntese da transformação mineral no Brasil**. Brasília: SGM, 2021.